

FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CIÊNCIA



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013



Governo da
República Portuguesa



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu

UMinho | 2018

Desenvolvimento de um jogo sério para fisioterapia, monitorização
e motivação de pacientes com doenças neurológicas

Tiago Rafael dos Santos Martins Pereira Rodrigues



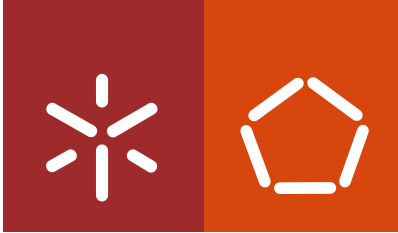
Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Tiago Rafael dos Santos Martins Pereira Rodrigues

**Desenvolvimento de um jogo sério para
fisioterapia, monitorização e motivação de
pacientes com doenças neurológicas**

maio de 2018



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tiago Rafael dos Santos Martins Pereira Rodrigues

**Desenvolvimento de um jogo sério para
fisioterapia, monitorização e motivação de
pacientes com doenças neurológicas**

Tese de Doutoramento

Doutoramento em Engenharia Electrónica e de Computadores
Especialidade em Tecnologia dos Sistemas de Informação

Trabalho efetuado sob a orientação do

Professor Doutor Vítor Carvalho

e da

Professora Doutora Filomena Soares

maio de 2018

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração da presente tese. Confirmo que em todo o trabalho conducente à sua elaboração não recorri à prática de plágio ou a qualquer forma de falsificação de resultados.

Mais declaro que tomei conhecimento integral do Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, 18 de maio de 2018



Tiago Rafael dos Santos Martins Pereira Rodrigues

DEDICATÓRIA

A todas as pessoas doentes

que lutam para vencer os seus males, minimizar a sua dor, e salvar
as suas vidas,

nomeadamente os pacientes que deram o seu contributo para a
concretização deste trabalho de investigação.

À minha família, pedra angular

do desenvolvimento deste projeto.

AGRADECIMENTOS

Concluída esta minha tese de Doutoramento, considero alcançada mais uma importante etapa da minha vida. Todavia, só com um grande leque de apoios humanos foi possível a conclusão deste projeto. Assim, cabe-me agradecer a todas as pessoas e entidades que, de uma forma ou outra, me deram a sua preciosa contribuição:

À FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia – pelo suporte financeiro concedido através da bolsa de doutoramento SFRH/BD/74852/2010.

Ao Professor Doutor Vítor Carvalho e à Professora Doutora Filomena Soares, pela superior orientação científica, pela revisão cuidada da tese e de toda a produção científica produzida, pela total disponibilidade, pelas sugestões apontadas, pelo apoio prestado, pela partilha de saberes e experiências, pela atitude sempre dedicada e coerente com que me nortearam e, também, pela liberdade de ação que me proporcionaram.

Ao Professor Doutor Demétrio Matos, por toda a colaboração, pelas sugestões e opiniões e pelo conhecimento transmitido.

Ao Mestre Jorge Marques, pela sua contribuição no campo de interfaces gráficas e modelação 3D.

Ao Eng. Luís Torrão, pela partilha de conhecimentos e apoio, no processo de criação do jogo.

Ao Mestre Miguel Araújo, pelo desenvolvimento de conceito, argumento e componente gráfica do jogo *PhysioVinci*.

Ao Mestre Orlando Lopes, pelo desenho e desenvolvimento de um produto integrado para a fisioterapia em ambiente clínico e domiciliário.

À Professora Doutora Celina Leão, pela ajuda e contribuições, no que se refere à metodologia de investigação.

Ao Dr. Paulo Maia, pela receção, pela colaboração, pelo *know-how*, pela disponibilização dos recursos humanos para apoio nas questões ligadas à reabilitação médica.

Ao Dr. Vítor Brandão, Provedor da Santa Casa da Misericórdia de Arouca, pela colaboração na disponibilização de todos os meios, para acompanhamento e monitorização dos testes intermédios e finais deste projeto.

À Mestre Luísa Brandão, responsável pela equipa de reabilitação do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Arouca, pela disponibilidade e colaboração, durante o desenvolvimento deste

projeto.

A todos os profissionais de reabilitação física, nomeadamente médicos fisiatras, fisioterapeutas e auxiliares de fisioterapia, pela sua cooperação, ativa ou passiva, neste projeto.

Ao *staff* do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Arouca, pela simpatia e pela disponibilidade, que proporcionaram as melhores condições de trabalho.

A todos os doentes, pela colaboração na realização dos testes e no estudo de caso.

A todos os professores, que, de alguma forma, contribuíram para o enriquecimento do conhecimento.

À Escola Secundária de Arouca, na pessoa da sua Diretora, Mestre Adília Cruz, pela cedência de instalações e laboratórios multimédia, para vídeo e fotografia.

À Sofia Rocha, pela disponibilidade, como modelo, para o registo de fotos e vídeos dos exercícios fisioterapêuticos.

À Doutora Ana Ferraz e à Doutora Sandra Costa, pelo seu fiel acompanhamento nas aulas e nos laboratórios de investigação e pela amizade e partilha de conhecimentos, assim como a todos os restantes colegas investigadores que, ao longo destes anos, me acompanharam nos laboratórios de investigação.

À minha tia, Mestre Maria Angelina Martins, pelas suas recomendações, críticas e sugestões relevantes.

A todos os meus familiares, e em especial aos meus pais, um agradecimento muito particular pela compreensão, pela tolerância, pelo apoio incondicional.

À Ana, por todo o carinho e compreensão.

Aos amigos, por todo o incentivo, apoio e compreensão pela minha ausência.

A todas as pessoas que tornaram possível a conclusão deste projeto.

RESUMO

As doenças neurológicas provocam frequentemente graves sequelas, nomeadamente problemas de mobilidade. Estes pacientes necessitam de programas regulares de fisioterapia para manterem a sua independência. No entanto, os exercícios da fisioterapia tradicional são monótonos e fastidiosos, deixando-os, muitas vezes, desmotivados.

Vários estudos têm revelado que os jogos sérios criam ambientes digitais agradáveis e usam formas de *feedback* que encorajam os pacientes a executar os exercícios fisioterapêuticos com satisfação e tranquilidade, incentivando-os a permanecer cada vez mais motivados.

Neste sentido, foi objetivo geral desta investigação desenvolver um jogo sério, para motivar e monitorizar a prática de fisioterapia de pacientes com doenças neurológicas, atendendo ao conceito de interação homem-máquina. Este objetivo foi dividido em objetivos parciais, que se fizeram corresponder a questões de investigação.

Através da estratégia da investigação-ação, desenvolveu-se um sistema não invasivo que utiliza técnicas de processamento de imagem para monitorizar os pacientes, e adapta, a situações de jogo eletrónico, exercícios propostos pela fisioterapia tradicional.

Com a estratégia de estudo de caso, experimentou-se o jogo desenvolvido em ambiente clínico, utilizando duas amostras: uma relativa a profissionais de saúde, e outra a pacientes com doenças neurológicas. A observação participante não estruturada e o inquérito por questionário foram as técnicas escolhidas para a recolha de dados para responder às questões de investigação. Além destes, utilizaram-se, ainda, os dados recolhidos pelo *software*.

Os dados do questionário revelaram que o jogo é capaz de motivar os pacientes para a prática da fisioterapia, e os do *software* mostraram a sua capacidade de adaptação ao estado físico do paciente, de monitorização dos exercícios e de armazenamento de toda a informação.

Os resultados obtidos permitiram responder afirmativamente a todas as questões de investigação, ou seja, foram atingidos os objetivos parciais definidos para esta investigação, concluindo-se que o jogo desenvolvido é um complemento válido à fisioterapia tradicional.

Palavras-chave: processamento de imagem, monitorização, sensor 3D, Unity, interação homem-máquina, jogo sério, ambientes digitais, doença neurológica, fisioterapia, motivação.

ABSTRACT

Neurological diseases may cause serious consequences in their victims, including mobility problems. These patients require physical therapy programs to maintain their independence for the longest possible time. But traditional therapy exercises are often monotonous and boring, leaving them unmotivated.

Several studies have revealed that serious games create pleasant digital environments and use feedback forms that encourage patients to perform the physical therapy exercises with pleasure and tranquility, encouraging them to remain increasingly motivated.

In this sense, it was the general objective of this research to develop a serious game to motivate and monitor the practice of physical therapy of patients with neurological disease, taking into account the concept of man-machine interaction. This goal was divided into sub-goals, which correspond to research questions.

Through the research-action strategy, it was developed a non-invasive system that uses image processing techniques monitoring of patients and that adapts some exercises of traditional physical therapy to electronic game situations.

With the case study strategy, it was tested the developed game in a clinical environment, using two samples: one corresponding to health professionals and another to patients with neurological diseases. The unstructured participant observation and the questionnaire survey were the techniques used to collect data that allow to answer the research questions. In addition, the data collected by the *software* was also analyzed.

The questionnaire data revealed that the game is able to motivate patients to practice physical therapy, and the *software* showed its ability to adapt to the physical condition of the patient, to monitor the exercises and to store all information.

The results allowed to answer positively to all research questions or, in other words, the partial objectives defined for this study were achieved, and it may be concluded that the developed game is a good complement to traditional physiotherapy.

Keywords: image processing, monitoring, 3D sensor, Unity, human-machine interaction, serious game, digital environments, neurological disease, physical therapy, motivation.

ÍNDICE

Lista de Siglas, Acrónimos e Abreviaturas.....	xvii
Índice de Figuras	xix
Índice de Tabelas.....	xxv
Capítulo 1.....	1
1.1. Doença Neurológica	2
1.2. Fisioterapia	5
1.3. Jogos Sérios e Motivação.....	6
1.4. Formulação do Problema	9
1.5. Estrutura da Tese.....	11
1.6. A Reter deste Capítulo	12
Capítulo 2.....	13
2.1. Jogos Sérios – Um Percorso Histórico	14
2.2. Jogos Sérios Usados em Fisioterapia e Reabilitação	20
2.3. Observação	36
2.4. A Reter deste Capítulo	36
Capítulo 3.....	39
3.1. Aquisição e Discretização de Imagem	40
3.2. Pré-Processamento	41
3.2.1. O contraste e o brilho – Equalização do histograma.....	42
3.2.2. Convolução de duas funções	44
3.2.3. Suavização da imagem – Filtros passa-baixo no domínio espacial	46
3.2.4. Suavização da imagem – Filtros passa-baixo no domínio da frequência	48
3.3. Segmentação	52
3.3.1. Técnica de limiarização (Thresholding)	53
3.3.2. Crescimento de regiões (Region Growing)	55
3.3.3. Detecção de bordas – Filtros passa-alto no domínio espacial	55

3.3.4.	Deteção de bordas – Filtros passa-alto no domínio da frequência	58
3.4.	Extração de Caraterísticas.....	59
3.4.1.	Código em cadeia	59
3.4.2.	Aproximação poligonal.....	62
3.5.	Reconhecimento de Padrões.....	66
3.5.1.	Reconhecimento baseado em métodos de decisão teórica – Classificador de distância mínima	66
3.5.2.	Reconhecimento baseado em métodos de decisão estrutural – String matching.....	68
3.5.3.	Reconhecimento das articulações do corpo humano	69
3.6.	A Reter deste Capítulo	76
Capítulo 4	.....	77
4.1.	Exercícios Fisioterapêuticos	78
4.2.	<i>Software</i> de Monitorização de Exercícios Fisioterapêuticos.....	80
4.2.1.	Processo de monitorização das articulações do corpo humano.....	81
4.3.	Aplicação <i>PhysioSoft</i>	83
4.3.1.	Desenvolvimento da aplicação	84
4.3.2.	Monitorização dos exercícios fisioterapêuticos.....	85
4.3.3.	Observações	92
4.3.4.	Resultados	96
4.4.	Jogo <i>PhysioVinci</i>	96
4.4.1.	Desenvolvimento do jogo	97
4.4.2.	Primeiro nível do jogo	98
4.4.3.	Testes preliminares	99
4.5.	A Reter deste Capítulo	100
Capítulo 5	.....	103
5.1.	Solução Integrada.....	104
5.1.1.	O jogo Medieval Physioland	105
5.1.2.	Servidor remoto.....	118
5.1.3.	Application Programming Interface (API).....	118

5.1.4.	Backoffice.....	121
5.1.5.	Estrutura auxiliar.....	126
5.1.6.	Dispositivo móvel	128
5.2.	A Reter deste Capítulo	130
Capítulo 6.....		131
6.1.	Referência aos Paradigmas de Investigação	132
6.2.	Equipamento e <i>Software</i>	134
6.3.	Caraterização das Amostras	136
6.3.1.	Profissionais de saúde	136
6.3.2.	Pacientes.....	137
6.4.	Questionário.....	138
6.5.	Procedimento Experimental	143
6.6.	Análise dos Dados.....	146
6.7.	A Reter deste Capítulo	147
Capítulo 7.....		149
7.1.	Usabilidade e Satisfação.....	150
7.1.1.	Grupo A – Facilidade de Uso	150
7.1.2.	Grupo B – Aparência e Performance	152
7.1.3.	Grupo C – Satisfação do Uso do <i>Physioland</i>	154
7.2.	Apreciação do <i>Physioland</i>	158
7.2.1.	O que o participante mais gosta no <i>Physioland</i>	158
7.2.2.	Aspetos negativos no <i>Physioland</i>	160
7.2.3.	Exercício mais bem-conseguido/que mais gosta no <i>Physioland</i>	162
7.2.4.	Exercício menos bem-conseguido/que menos gosta no <i>Physioland</i>	164
7.2.5.	Sugestões para melhorar o <i>Physioland</i>	166
7.2.6.	Conhecimento ou utilização de outros jogos	167
7.2.7.	Apreciação global do <i>Physioland</i>	168
7.3.	Resultados Recolhidos pelo Sistema	169
7.3.1.	Abdução/adução da articulação glenoumeral	171

7.3.2.	Flexão/extensão da articulação glenoumeral.....	173
7.3.3.	Flexão/extensão da articulação radioumeral	174
7.3.4.	Abdução/adução da articulação coxofemoral	176
7.3.5.	Movimento cruzado	177
7.3.6.	Roldanas	179
7.3.7.	Observações	180
7.4.	Discussão.....	181
7.5.	A Reter deste Capítulo	183
Capítulo 8	.....	185
Referências	.....	193
Anexo A	.....	209
Anexo B	.....	211
Anexo C	.....	213
Anexo D	.....	215
Anexo E	.....	219
Anexo F	.....	221
Anexo G	.....	223
Anexo H	.....	229
Anexo I	.....	235

LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AACF – Abdução/Adução da Articulação Coxofemoral

AACFd – Abdução/Adução da Articulação Coxofemoral da Perna Direita

AACFe – Abdução/Adução da Articulação Coxofemoral da Perna Esquerda

AAGU – Abdução/Adução da Articulação Glenoumeral

AAGUd – Abdução/Adução da Articulação Glenoumeral do Braço Direito

AAGUe – Abdução/Adução da Articulação Glenoumeral do Braço Esquerdo

API – *Application Programming Interface*

AVC – Acidente Vascular Cerebral

CDF – *Cumulative Distribution Function*

CSS – *Cascading Style Sheets*

DDR – *Dance Dance Revolution*

EDSAC – *Electronic Delay Storage Automatic Calculator*

FEGU – Flexão/Extensão da Articulação Glenoumeral

FEGUd – Flexão/Extensão da Articulação Glenoumeral do Braço Direito

FEGUe – Flexão/Extensão da Articulação Glenoumeral do Braço Esquerdo

FERU – Flexão/Extensão da Articulação Radioumeral

FERUd – Flexão/Extensão da Articulação Radioumeral do Braço Direito

FERUe – Flexão/Extensão da Articulação Radioumeral do Braço Esquerdo

GPL – *General Public License*

HTTP – *Hyper Text Transfer Protocol*

HTTPS – *Hyper Text Transfer Protocol Secure*

JSON – *JavaScript Object Notation*

LED – *Light Emitting Diode*

MCr – Movimento Cruzado

MIRA – *Medical Interactive Recovery Assistant*

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

PHP – *Hypertext Preprocessor*

ReaKinG – *Rehabilitation using Kinect-based Games*

REST – *Representational State Transfer*

RGB – *Red Green Blue*

Rol – Roldanas

RV – *Realidade Virtual*

SQL – *Structured Query Language*

TAM – *Technology Acceptance Model*

TMRC – *Tech Model Railroad Club*

URI – *Uniform Resource Identifier*

W3C – *World Wide Web Consortium*

WCPT – *World Confederation for Physical Therapy*

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Jogo <i>Whack-a-Mouse</i>	21
Figura 2 – Diagrama do sistema de fisioterapia de reabilitação	23
Figura 3 – Jogo colaborativo	25
Figura 4 – O Jogo <i>Rowing</i>	29
Figura 5 – O Jogo <i>Steam Mini-Golf</i>	30
Figura 6 – Nivel mais avançado do <i>WristDroid</i>	30
Figura 7 – <i>VirtualRehab</i>	32
Figura 8– Exercício de fisioterapia	33
Figura 9 – Jogo <i>Fishing</i>	34
Figura 10 – Jogo <i>Spaceship Orbité</i>	34
Figura 11 – Jogo do um separador de embalagens, numa estação de correios	35
Figura 12 – Equalização do histograma.....	44
Figura 13 – Filtro da média $k \times k$	47
Figura 14 – Filtros da média e da mediana com máscaras 3×3	48
Figura 15 – Segmentação de imagem	53
Figura 16 – Típico filtro linear espacial passa-alto	56
Figura 17 – Direções do código em cadeia	60
Figura 18 – Código em cadeia 8-direcional, depois de nova amostragem	60
Figura 19 – Algumas contagens do número de mudanças de direção	61
Figura 20 – Código em cadeia	61
Figura 21 – Aproximação poligonal	63
Figura 22 – Aproximação poligonal	63
Figura 23 – Dados sintetizados <i>versus</i> dados reais.....	71
Figura 24 – Floresta de decisão aleatória	73
Figura 25 – Intervalo de deteção do sensor <i>Kinect</i>	74
Figura 26 – Abdução/adução da articulação glenoumeral	78
Figura 27 – Flexão/extensão da articulação glenoumeral.....	79
Figura 28 – Flexão/extensão da articulação radioumeral	79
Figura 29 – Abdução/adução da articulação coxofemoral.....	79
Figura 30 – Movimento cruzado.....	80

Figura 31 – Roldanas	80
Figura 32 – Sistema de monitorização de exercícios fisioterapêuticos.....	81
Figura 33 – Processo de deteção dos marcadores	82
Figura 34 – Arquitetura lógica do <i>PhysioSoft</i>	84
Figura 35 – <i>Screenshots</i> do <i>PhysioSoft</i>	85
Figura 36 – Alinhamentos e compensações, corretos e errados	86
Figura 37 – Execução, alinhamento e compensação da abdução/adução da articulação glenoumeral	87
Figura 38 – Execução, alinhamento e compensação da flexão/extensão da articulação glenoumeral	89
Figura 39 – Execução, alinhamento e compensação da flexão/extensão da articulação radioumeral.....	90
Figura 40 – Execução, alinhamento e compensação da abdução/adução da articulação coxofemoral.....	91
Figura 41 – Execução, alinhamento e compensação do movimento cruzado	91
Figura 42 – Execução, alinhamento e compensação das roldanas	92
Figura 43 – <i>Storyboard</i> simplificado do nível I do <i>PhysioVinci</i>	98
Figura 44 – <i>PhysioVinci</i> , Nível I.	99
Figura 45 – Arquitetura lógica do sistema.....	104
Figura 46 – Arquitetura geral do sistema	106
Figura 47 – <i>Screenshots</i> do <i>Physioland</i>	107
Figura 48 – <i>Screenshots</i> do <i>Physioland</i>	108
Figura 49 – <i>Screenshot</i> do <i>Physioland</i>	109
Figura 50 – Estrutura e mapa de navegação do <i>Physioland</i>	109
Figura 51 – <i>Screenshot</i> e <i>storyboard</i> do primeiro nível de jogo do <i>Physioland</i>	110
Figura 52 – <i>Screenshot</i> e <i>storyboard</i> do segundo nível de jogo do <i>Physioland</i>	111
Figura 53 – <i>Screenshot</i> e <i>storyboard</i> do terceiro nível de jogo do <i>Physioland</i>	112
Figura 54 – <i>Screenshot</i> e <i>storyboard</i> do quarto nível de jogo do <i>Physioland</i>	112
Figura 55 – <i>Screenshot</i> e <i>storyboard</i> do quinto nível de jogo do <i>Physioland</i>	113
Figura 56 – <i>Screenshot</i> e <i>storyboard</i> do sexto nível de jogo do <i>Physioland</i>	114
Figura 57 – Arquitetura genérica de comunicações com o <i>backoffice</i>	122
Figura 58 – Comportamento do sistema de <i>backoffice</i> num modelo tridimensional	123

Figura 59 – Aplicação <i>web</i> com <i>layout</i> responsivo	124
Figura 60 – Exemplo de um perfil de uma unidade de saúde.....	126
Figura 61 – Estrutura auxiliar de apoio à fisioterapia.....	127
Figura 62 – Posturas na estrutura auxiliar	128
Figura 63 – Conceitos idealizados para o produto.....	129
Figura 64 – Produto.....	129
Figura 65 – Ambiente de utilização	130
Figura 66 – A “Cebola” da Investigação	132
Figura 67 – Aspeto geral da instalação de alguns materiais e equipamentos.....	135
Figura 68 – Caraterização da amostra dos Profissionais de Saúde.....	139
Figura 69 – Caraterização da amostra dos pacientes.....	139
Figura 70 – Itens do grupo A dos questionários	140
Figura 71 - Itens do grupo B dos questionários	141
Figura 72 - Itens do grupo C, comuns, aos dois questionários.....	141
Figura 73 - Itens do grupo C, com redação para os profissionais de saúde.....	142
Figura 74 - Itens do grupo C, com redação para os pacientes	142
Figura 75 – Itens específicos do questionário dos profissionais de saúde	143
Figura 76 - Itens específicos do questionário dos pacientes	143
Figura 77 – Sala específica para realização dos testes do <i>Physioland</i>	145
Figura 78 – Itens do grupo A dos questionários	150
Figura 79 - Itens do grupo B dos questionários	152
Figura 80 – Itens do grupo C, comuns, aos dois questionários	154
Figura 81 - Itens do grupo C, com redação para os profissionais de saúde.....	155
Figura 82 - Itens do grupo C, com redação para os pacientes.....	155
Figura 83 – Itens específicos do questionário dos profissionais de saúde	156
Figura 84 - Itens específicos do questionário dos pacientes	157
Figura 85 – Questão QA1.....	158
Figura 86 – Questão QA2.....	160
Figura 87 – Questão QA3, no questionário dos profissionais de saúde	162
Figura 88 – Questão QA3, no questionário dos pacientes	162
Figura 89 – Questão QA4, no questionário dos profissionais de saúde	165
Figura 90 – Questão QA4, no questionário dos pacientes	165

Figura 91 – Questão QA5	166
Figura 92 – Questão QA6	167
Figura 93 - Questão QA7	168
Figura 94 – Diferentes pacientes a executarem exercícios do <i>Physioland</i>	171
Figura 95 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – AAGU	172
Figura 96 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – AAGU	172
Figura 97 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – FEGU	173
Figura 98 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – FEGU	174
Figura 99 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – FERU	175
Figura 100 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – FERUe.....	175
Figura 101 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – AACF.....	176
Figura 102 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – AACF.....	177
Figura 103 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – MCr.....	178
Figura 104 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – MCr.....	178
Figura 105 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P5 – Rol	179
Figura 106 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P11 – Rol	180
Figura 107 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P1 – AAGU	236
Figura 108 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P1 – FEGU	237
Figura 109 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P1 – FERU	237
Figura 110 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P1 – AACF.....	238
Figura 111 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P1 – MCr.....	238
Figura 112 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P1 – Rol	239
Figura 113 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – AAGU	240
Figura 114 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – FEGU	240
Figura 115 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – FERU	241
Figura 116 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – AACF.....	241
Figura 117 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – MCr.....	242
Figura 118 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P2 – Rol	243
Figura 119 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P3 – AACFd.....	244
Figura 120 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P3 – AACFe.....	244
Figura 121 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P4 – AAGU	245
Figura 122 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P4 – FEGU	246

Figura 123 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P4 – MCr	247
Figura 124 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P4 – Rol.....	247
Figura 125 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P5 – AAGU.....	248
Figura 126 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P5 – FEGU	249
Figura 127 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P5 – FERU	249
Figura 128 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P5 – MCr	250
Figura 129 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P5 – Rol.....	250
Figura 130 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – AAGU.....	251
Figura 131 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – FEGU	252
Figura 132 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – FERU	252
Figura 133 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – AACF	253
Figura 134 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – MCr	254
Figura 135 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P6 – Rol.....	254
Figura 136 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – AAGU.....	255
Figura 137 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – FEGU	256
Figura 138 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – FERU	256
Figura 139 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – AACF	257
Figura 140 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P7 – Rol.....	258
Figura 141 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – AAGUd.....	259
Figura 142 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – AAGUe.....	259
Figura 143 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – FEGUd.....	260
Figura 144 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – FEGUe.....	260
Figura 145 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – FERUd.....	261
Figura 146 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – FERUe.....	261
Figura 147 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P8 – MCr	262
Figura 148 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P9 – AACF	263
Figura 149 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P9 – Rol.....	263
Figura 150 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P10 – AAGU.....	264
Figura 151 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P10 – FEGU	265
Figura 152 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P10 – FERU	266
Figura 153 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P10 – AACF	266
Figura 154 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P10 – MCr	267

Figura 155 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P10 – Rol	267
Figura 156 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P11 – AAGU	268
Figura 157 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P11 – FEGU	269
Figura 158 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P11 – FERU	269
Figura 159 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P11 – MCr	270
Figura 160 – Gráficos da <i>performance</i> e da pontuação de P11 – Rol	270

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Valores teóricos e valores lidos dos ângulos monitorizados	93
Tabela 2 – Valores máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (AAGU)	94
Tabela 3– Valores máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (FEGU)	94
Tabela 4– Valores máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (FERU)	95
Tabela 5– Valores máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (AACF)	95
Tabela 6 – Percentagens relativas às variáveis do grupo A.....	151
Tabela 7 - Percentagens relativas às variáveis do grupo B.....	153
Tabela 8 - Percentagens comuns aos dois questionários.....	155
Tabela 9 - Percentagens específicas do questionário dos profissionais de saúde	156
Tabela 10 - Percentagens específicas do questionário dos pacientes.....	157
Tabela 11 – O que o inquirido mais gosta no <i>Physioland</i>	159
Tabela 12 – Aspectos negativos no <i>Physioland</i>	161
Tabela 13 – Exercício mais bem-conseguido/que mais gosta no <i>Physioland</i>	163
Tabela 14 – Exercício menos bem-conseguido no <i>Physioland</i>	165
Tabela 15 – Sugestões para melhorar o <i>Physioland</i>	166
Tabela 16 – Apreciação global do <i>Physioland</i>	168
Tabela 17 – Limites das compensações lateral e frente/trás	170
Tabela 18 – Limites do alinhamento e da velocidade.....	170

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Antes da formulação do problema que servirá de base a este trabalho, da explicitação dos objetivos que se pretende atingir e da estrutura da tese, abordar-se-ão, ainda que concisamente, a doença neurológica, a fisioterapia, os jogos sérios e a motivação que eles podem proporcionar. Por outras palavras, far-se-á, neste capítulo, uma breve referência aos elementos que influenciaram a escolha do tema que fundamenta o presente estudo.

1.1. Doença Neurológica

Diariamente, aumenta o número de pessoas afetadas por doenças neurológicas, isto é, doenças relacionadas com o Sistema Nervoso, nomeadamente as que comprometem os movimentos dos pacientes. Embora, não seja do âmbito desta investigação o estudo da complexidade anatômica e funcional deste sistema, parece pertinente apresentar algumas noções básicas que possam oferecer uma certa compreensão sobre o modo como tais problemas são suscetíveis de surpreender o ser humano e, mais ainda, fazer perceber a importância da fisioterapia como tratamento de pacientes que veem a sua mobilidade reduzida, em consequência de uma doença deste tipo.

Começa-se, então, por referir que, estruturalmente, ele se divide em duas partes: Sistema Nervoso Central, constituído pelo encéfalo e pela espinal medula, envolvidos pelos ossos do crânio e da coluna vertebral, respetivamente, e Sistema Nervoso Periférico, que inclui os nervos e os gânglios, sem qualquer proteção óssea (Gale, 2005).

É ao Sistema Nervoso que se deve o contacto constante do organismo com o meio ambiente, sendo ele que recebe, armazena, processa e transmite todas as informações. Portanto, é da sua responsabilidade o funcionamento adequado do organismo, pois, em conjunto com todos os outros sistemas, que ele controla, permite que o corpo reaja, de forma adequada, às variações do meio externo e interno, também estas detetadas por seu intermédio (Brodal, 2004).

A unidade funcional básica do Sistema Nervoso é o neurónio ou célula nervosa, que tem três partes distintas: corpo celular, dendrites, ou seja, prolongamentos ramificados que agem como terminais de receção dos impulsos, e axónio, cuja extremidade tem ramificações que são terminais de transmissão, e que, na maioria dos casos, está envolvido por uma bainha de mielina, um isolador térmico que facilita a transmissão dos impulsos nervosos (Santos K. G., 2010).

Conquanto seja complexa a maneira como estas células comunicam entre si, formando as redes neuronais, procurar-se-á utilizar a simplicidade possível para descrever somente o “caminho” entre as variações do meio, os estímulos, e as sensações específicas.

O processo inicia-se com os recetores, que correspondem a terminações nervosas modificadas, preparadas para perceber os estímulos do meio interno ou externo, isto é, funcionam como “janelas abertas” através das quais o Sistema Nervoso interage com o ambiente ou com o próprio organismo. Embora sejam vários os tipos de recetores, cada um deles reconhece apenas os estímulos específicos para ele, sendo praticamente insensível aos restantes (sensibilidade diferencial). Estas

estruturas têm a capacidade de transformar, em impulsos nervosos, os estímulos captados, sendo as informações transmitidas a áreas do Sistema Nervoso Central altamente organizadas quanto à origem dos estímulos (Campos C. B., 2010). O encéfalo processa estas informações aferentes (que vão da periferia para o centro), que aí chegam percorrendo o Sistema Nervoso Periférico e a espinal medula, convertendo-as em informações eferentes (que vão do centro para a periferia), que são levadas aos sistemas que realizam as diferentes funções (Malmivuo & Plonsey, 1995).

Os neurónios caracterizam-se por duas importantes propriedades que lhes permitem o desempenho das suas funções: a excitabilidade, que os torna aptos para responderem a estímulos, e a condutibilidade, que lhes proporciona a capacidade de transmitir os impulsos gerados. Cada impulso percorre o neurónio no sentido das dendrites para o axónio, sendo de natureza elétrica. Mas os neurónios não têm continuidade celular, estando as membranas emissoras de um e as recetoras do que se segue, separadas por um espaço denominado de sinapse, que, na maioria dos casos, os impulsos elétricos não conseguem ultrapassar. São, por isso, transformados em impulsos químicos ou neurotransmissores, que estimulam o neurónio seguinte, convertendo-se, de novo, em sinais elétricos. Deste modo, recebendo e transmitindo os impulsos nervosos, os neurónios conduzem as informações recolhidas, à semelhança de uma corrente elétrica transportada por um fio condutor (Santos K. G., 2010).

A ocorrência de lesões nos neurónios, sejam de ordem genética, congénita ou adquirida, desencadeia disfunções celulares, comprometendo a transmissão de sinais elétricos, culminando na morte neuronal e, por consequência, configurando um quadro de doença neurológica (Shieh, Coghlan, Sullivan, & Gopalakrishnan, 2000).

No universo de um relativamente grande número de doenças neurológicas, a esclerose múltipla, o acidente vascular cerebral (AVC), a ataxia de Friedreich e a doença de Parkinson são apenas alguns tipos.

A esclerose múltipla é uma doença neurodegenerativa progressiva, caracterizada por danos que um processo inflamatório causa na bainha de mielina dos axónios do Sistema Nervoso Central. Estes danos tornam-se permanentes, pois, apesar de se reiniciar a remielinização, ela não consegue compensar a desmielinização, o que leva à posterior lesão destas células nervosas (Radu & Gonçalves, 2011).

Um AVC é uma doença neurológica aguda que ocorre quando a afluência de sangue a uma parte do cérebro é subitamente interrompida por obstrução, ou quando há rutura de um vaso sanguíneo

cerebral, originando uma hemorragia. Em qualquer dos casos, é cortado o fornecimento de oxigénio e nutrientes à área irrigada pela artéria que foi obstruída ou que foi atingida pela hemorragia, o que resulta em lesão ou morte nas células nervosas dessa região (Markus, 2011; Barros, Passos, & Nunes, 2013).

A ataxia de Friedreich é uma atrofia degenerativa autossómica recessiva, que resulta da mutação de um gene particular, e que é caracterizada pela neuropatia sensorial nos gânglios da raiz dorsal, acompanhada de uma perda de fibras sensoriais nos nervos periféricos, e pela degeneração das colunas posteriores da espinal medula (Pandolfo, 2009).

A doença de Parkinson é uma síndrome neurodegenerativa progressiva e incapacitante, caracterizada pela morte de neurónios dopaminérgicos (secretores de dopamina), na região do mesencéfalo denominada substância negra, e pela acumulação de inclusões filamentosas intraneurais (corpos de *Lewy*). A dopamina é o neurotransmissor responsável por transmitir informações às áreas do encéfalo que comandam os movimentos. Os corpos de *Lewy* são considerados um marcador de diagnóstico desta doença (Feany & Bender, 2000; Gibb & Lees, 1988).

Embora diferentes na sua génese, pois são distintas as causas dos danos neuronais, estas doenças que foram referidas têm algo em comum: a transmissão dos sinais elétricos para o movimento vai cessando, os músculos vão perdendo a atividade e vão atrofiando, comprometendo a mobilidade dos pacientes afetados (Villar, 1997).

Os neurónios são, na sua maioria, células amitóticas, pelo que, quando sofrem lesões, não podem ser reparados por divisão celular. No entanto, é frequente observar-se uma recuperação, ainda que parcial, das funções perdidas, mesmo em casos em que as consequências das lesões são graves, o que revela que o Sistema Nervoso tem a capacidade de desenvolver mecanismos que lhe permitem adaptar as possibilidades do indivíduo aos desafios do meio. Assim, quando há perda de neurónios, são procurados novos circuitos neuronais alternativos que possam substituir as estruturas lesadas. Estes mecanismos adaptativos são a manifestação de uma propriedade intrínseca do Sistema Nervoso, a neuroplasticidade ou plasticidade neuronal, que pode ser definida como a capacidade de ele modificar a sua organização estrutural e funcional, desde que seja sujeito a estímulos repetidos (Ribeiro Sobrinho, 1995).

Parece ser consensual, na literatura relativa a este tema, que a prática de exercícios motores induz a plasticidade neuronal. Portanto, as pessoas com problemas de mobilidade em resultado de doenças neurológicas devem usufruir de programas de tratamento adequados que incluam

atividades funcionais, pois, acreditando-se que o treino destas incentiva a neuroplasticidade, os pacientes poderão conseguir uma evolução clínica positiva, o que lhes concederá maior independência e, consequentemente, melhor qualidade de vida (Borella & Sacchelli, 2009).

Aplicando, a pacientes com lesões neuronais, recursos terapêuticos baseados no movimento, novas conexões com o Sistema Nervoso Central vão ser estimuladas, contribuindo para a sua reorganização: novas dendrites podem brotar; pode haver extensão de ramificações já presentes; podem alterar-se sinapses existentes ou outras novas podem ser criadas; podem ocorrer mudanças nos axónios; novos neurotransmissores podem ser produzidos (Mulder & Hochstenbach, 2001). É aqui que a fisioterapia se torna imprescindível, para promover estímulos sensoriais capazes de incentivar a neuroplasticidade e, deste modo, contribuir para a recuperação dos movimentos funcionais de pacientes que sofreram sequelas decorrentes de doenças neurológicas (Oliveira, Salina, & Annunziato, 2001).

1.2. Fisioterapia

Segundo a *World Confederation for Physical Therapy* (WCPT, 2014, citado em M. Smith, Meyer, Stagnitti, & Schoo, 2009), a fisioterapia é uma especialidade da área da saúde que proporciona serviços direcionados para desenvolver, manter e restaurar o movimento máximo e a capacidade funcional ao longo da vida, abrangendo o bem-estar físico, psicológico, emocional e social. Ela estuda, previne e trata os distúrbios cinéticos funcionais que ocorrem em órgãos e sistemas do corpo humano, originados por mutações genéticas, por traumas ou por doenças adquiridas (Peres, 2002).

À fisioterapia interessa conhecer os diferentes movimentos do corpo humano, já que o sucesso da recuperação do paciente está dependente da reaprendizagem dos movimentos perdidos, com base na execução de um conjunto de exercícios que devem ser repetidos intensamente e que farão parte de um programa de reaprendizagem motora, cuidadosamente planeado pelo fisioterapeuta, e que tenha em conta o carácter individual da lesão apresentada (Mulder & Hochstenbach, 2001; Campos G. P., 2013).

Porém, grande parte dos pacientes com doenças neurológicas tem, pela frente, longos períodos de tratamentos fisioterapêuticos. Além disso, os exercícios tradicionais, apesar de necessários, são enfadonhos e repetitivos, o que leva os participantes a sentirem-se desencorajados e a abandonarem prematuramente o tratamento, principalmente se não sentirem melhoras a curto prazo (S. T. Smith,

Talaei-Khoei, M. Ray, & P. Ray, 2009). Por conseguinte, é necessário criar alternativas que ofereçam aos pacientes ambientes agradáveis capazes de os encorajar a executar, com satisfação, os programas que lhes foram prescritos, levando-os a abstrair-se da terapêutica propriamente dita e a entrarem numa dimensão de divertimento, esquecendo-se mesmo que estão a realizar uma terapia (Martins, Carvalho, & Soares, 2013a; Martins, Carvalho, & Soares, 2013b).

Os resultados de vários estudos têm mostrado que os jogos sérios, quando postos ao serviço da fisioterapia e da reabilitação, têm enorme potencial para criar tais ambientes, despertando a motivação dos pacientes jogadores, que acabam por cumprir todo o tempo previsto para a sua terapia, sendo, portanto, grandes as probabilidades de serem bem-sucedidos.

1.3. Jogos Sérios e Motivação

Acompanhando a vertiginosa evolução tecnológica a que se vem assistindo nos últimos tempos, a indústria dos jogos eletrónicos tem-se desenvolvido de tal modo que se transformou na maior indústria de entretenimento da atualidade, suplantando a do cinema e a da música, conjuntamente (Araújo, Martins, Carvalho, Marques, & Soares, 2013)

Embora frequentemente se atribuam aos jogos eletrónicos certos malefícios, tais como o aumento da agressividade dos jogadores, o vício, o fortalecimento de estereótipos de género e étnicos, que levam à discriminação, o isolamento social e o sedentarismo, há quem os veja sob a perspetiva de uma ferramenta com múltiplas vantagens (Albuquerque, 2014). E foi com base nesta nova perspetiva que, nos anos mais recentes, se viu proliferar os chamados jogos sérios, ou seja, jogos que, sem deixarem de parte o entretenimento, colocam a sua ênfase na resolução de problemas nas mais diversas áreas (Johnson, Vilhjalmsson, & Marsella, 2005).

Em particular, pode considerar-se a área da saúde, na qual é possível destacar o contributo relevante que estes jogos trazem à fisioterapia e reabilitação de pacientes com dificuldades motoras, que podem ter causas diversas, particularmente doenças neurológicas. De facto, as lesões que estas doenças causam nos neurónios são, muitas vezes, irreversíveis, embora a neuroplasticidade, estimulada pela fisioterapia, possa ajudar a recuperar as funções perdidas ou a fortalecer outras semelhantes, o que concede maior independência e melhor qualidade de vida. Para tanto, os doentes necessitam de tratamentos precisos, todavia morosos, que mantenham níveis adequados de estímulos (Oliveira et al. 2001).

A morosidade de um tratamento que, aos olhos de quem o pratica, parece não trazer qualquer

resultado positivo, juntamente com o caráter monótono e fastidioso dos exercícios de fisioterapia, torna difícil manter os pacientes motivados para a sua concretização. Contudo, a motivação é a palavra-chave para que persistam nos seus programas o tempo que for necessário, sem se sentirem desencorajados (Martins et al., 2013a).

Para alguns autores, a motivação é tudo o que desperta, dirige e condiciona um comportamento, sendo vital em qualquer atividade em que se pretenda que as pessoas deem o melhor de si. No caso particular da fisioterapia, com a motivação consegue-se que o praticante encontre razões para aprender a executar os exercícios, para se aperfeiçoar e para descobrir e rentabilizar capacidades (Coelho & Balancho, 2008). Neste mesmo contexto, a motivação dos pacientes é um importante desafio que tem implicações diretas na qualidade do seu envolvimento no processo de tratamento. O paciente motivado revela entusiasmo em participar nas tarefas, procura novas oportunidades e mostra-se disposto a partir para novos desafios (Alcará & Guimarães, 2007).

A motivação desencadeia atitudes dinâmicas, ativas e persistentes, levando o doente a valorizar a ideia de sucesso, em detrimento dos obstáculos encontrados (N. Sprinthall & R. Sprinthall, 1993).

Para que os pacientes neurológicos consigam afastar as contrariedades que os seus tratamentos implicam, provavelmente, um ambiente lúdico, rico de possibilidades para eles interagirem, comunicarem, arriscarem, desenvolverem competências, aumentarem a autoestima, a sociabilização, a persistência, será extremamente motivador. Em suma, um ambiente lúdico é um campo fértil para que a terapia a que têm de se sujeitar possa ser realizada com sucesso (Kaufmann-Sacchetto, et al., 2011).

Uma maneira de introduzir esta componente lúdica, nos centros de fisioterapia e reabilitação, pode ser conseguida com a utilização de jogos sérios. Aliás, com base em estudos realizados, percebe-se que estes jogos têm vindo a adquirir uma importância crescente, sobretudo pelo facto de, ao proporcionarem o entretenimento do jogador, aumentarem o grau de motivação. Assim sendo, eles não devem limitar-se a transmitir simples estratégias de jogo, sendo deveras relevante que tenham presente o aspeto lúdico, que consiga envolver o jogador numa experiência vívida, que o faça alcançar as metas a que se propõe (Araújo et al., 2013).

Atualmente, estes recursos tecnológicos disponibilizam, a esta área da saúde, elementos capazes de aumentar a sua eficiência, sobretudo quando se pensa na sua alta capacidade de promover a motivação dos pacientes. Pode pensar-se, por exemplo, nas várias formas de *feedback* de desempenho que, normalmente, estes jogos integram, tais como pontuações numéricas, barras de

progresso, caixas de diálogo, controlador de vibração/força e som. As informações que o *feedback* imediato fornece ao jogador ajudam-no a perceber o seu progresso rumo a um objetivo, a compreender os seus erros e a aprender com eles, a encorajá-lo no sentido de melhorar o seu desempenho. Independentemente da forma que tome, o *feedback* constitui um incentivo gratificante, que pode levar ao aumento da motivação e prazer, criando um maior desejo para completar, com êxito, tarefas especiais e atingir os resultados desejados (Burke, et al., 2009; Neves, Santos, Santana, & Ishitani, 2014).

Outros aspetos que os jogos sérios geralmente apresentam são: o controlo e a consistência dos estímulos; a modificação dos estímulos e das respostas, que dependem das capacidades físicas do utilizador; a oportunidade para exposição aos estímulos de uma maneira graduada. Estas configurações permitem ao jogador perceber a possibilidade de interferir nas suas experiências com o jogo, dando-lhe a sensação de liberdade, de domínio e de capacidade de ação (Neves et al., 2014; Keshner, 2004).

Estas ferramentas tecnológicas permitem, também, a prática independente, o que é muito importante principalmente para os pacientes mais tímidos, que, desta forma, veem afastado o receio de serem ridicularizados, quando não conseguem realizar um qualquer exercício. Além disso, podem ser ajustadas às necessidades individuais de cada pessoa, e reproduzir qualquer situação, nas mesmas condições e tantas vezes quantas se queira, o que as converte num apoio de excelência às pessoas com problemas de mobilidade (Sik-Lányi & Brown, 2010). Deste modo, o facto de o jogador falhar um exercício e poder repeti-lo é um fator motivador. Os exercícios mais difíceis, com estas tecnologias, passam a representar atividades que lhe dão prazer, tornam-se desafios a vencer (Martins et al., 2013a).

E depois há a atração que os jogos conseguem exercer. Mesmo às pessoas que não parecem estar interessadas em qualquer tipo de jogos, depois de os experimentarem, conseguem despertar-lhes a fantasia e a curiosidade, proporcionando ambientes que de outra forma lhes seriam inacessíveis: ambientes que oferecem oportunidades para colaborar, para competir, para se relacionar com outros jogadores, para correr riscos sem medo de fracassos, para manipular mundos virtuais e interagir com eles, para converter a sua personalidade numa nova realidade induzida, para criar expectativas que nem sempre serão confirmadas (Martins, Araújo, Carvalho, Soares, & Torrão, 2014; Talug, 2012; Malone, 1980).

Em suma, ao mesmo tempo que entretêm os jogadores e reforçam os movimentos saudáveis, os

jogos sérios criam ambientes envolventes e agradáveis, facultando experiências desafiadoras e gratificantes (S. T. Smith et al., 2009).

O potencial destes recursos tecnológicos disponibiliza, à área da fisioterapia, os “ingredientes” necessários para aumentar a sua eficiência, permitindo-lhe encontrar novas estratégias capazes de despoletar a motivação dos pacientes e, deste modo, poder responder adequadamente aos problemas que possam surgir, nomeadamente o de fraca adesão aos tratamentos e o de não persistência nos mesmos.

1.4. Formulação do Problema

A sociedade atual tem observado um número cada vez maior de vítimas de doença neurológica, com mobilidade reduzida, levando a uma necessidade de realização de fisioterapia para otimizar a sua qualidade de vida. Desta ação resultam programas fisioterapêuticos repletos de exercícios repetitivos, muitas vezes fastidiosos, que levam à desmotivação dos pacientes e consequente fraca adesão e desistência (Martins, Carvalho, & Soares, 2012).

No entanto, como resultado da evolução tecnológica, surgem novas ferramentas de apoio, onde se encontram os jogos sérios, assim chamados por juntarem o aspeto lúdico à capacidade de resolução de problemas, pelo que a sua utilização na área da fisioterapia pode modificar a maneira como os pacientes enfrentam os seus tratamentos.

Nos últimos anos, tem crescido, de modo significativo, o número de jogos sérios postos ao serviço da fisioterapia. Dos estudos que a eles se referem, alguns revelam resultados bastante positivos, no que respeita à recuperação das funções motoras, enquanto outros ainda não foram suficientemente testados para dar lugar a conclusões definitivas (Martins, Araújo, Carvalho, et al., 2014). Contudo, de acordo com os mesmos estudos, todos eles conseguiram criar ambientes agradáveis, onde os pacientes se sentiram bem, onde se integraram com prazer, onde puderam desenvolver atitudes e valores, onde encontraram significado para os seus tratamentos e esperança para as suas vidas. Enfim, os ambientes criados ajudaram os pacientes a adquirir a motivação necessária para não desistirem dos seus programas de reabilitação, na medida em que abriram novos caminhos que lhes fortaleceram as capacidades, permitindo-lhes reduzir o impacto das suas limitações.

A investigação levada a cabo mostra também que, na sua quase generalidade, os jogos sérios utilizados mais não são do que jogos genéricos que foram adaptados às diferentes situações, sendo poucos os que, na sua conceção, são baseados em exercícios específicos da fisioterapia tradicional.

Nota-se, portanto, a existência de uma lacuna no que se refere a jogos que se destinam exclusivamente a um amplo espectro de exercícios da fisioterapia convencional, projetados para melhorar a mobilidade de pacientes com doenças neurológicas.

Os resultados favoráveis encontrados na investigação, bem como o desejo de suprir a referida lacuna que se detetou, relativa ao suporte tecnológico para a fisioterapia dos pacientes com doenças neurológicas, aliados ainda à satisfação pessoal que advém da concretização de qualquer projeto que se traduza num desafio realmente fascinante, constituíram o impulso para enveredar pelo caminho da inovação, rumo ao desenvolvimento de um jogo sério que pudesse levar os referidos pacientes a fazerem os seus tratamentos com entusiasmo.

Assim sendo, considera-se como único objetivo geral deste projeto desenvolver um jogo sério, baseado em técnicas de processamento de imagem, para motivar e monitorizar a prática de fisioterapia de pacientes com mobilidade reduzida, em consequência de doença neurológica.

Este objetivo geral subdivide-se nos seguintes objetivos parciais:

- Estruturar o jogo de forma a ser possível aumentar ou diminuir o nível de dificuldade, para atender às capacidades e interesses do paciente;
- Recorrer a técnicas de processamento de imagem e respetivos algoritmos, para averiguar se um dado exercício está a ser executado corretamente;
- Armazenar, numa base de dados, toda a informação recolhida pelo sistema desenvolvido para análise dos resultados, quer por parte da equipa de investigação, quer dos profissionais de saúde e até dos próprios pacientes;
- Adaptar, a situações de jogo eletrónico, exercícios específicos da fisioterapia tradicional, para a reabilitação dos pacientes com doenças neurológicas;
- Dotar o jogo de um sistema que transmita o resultado em forma pontuação, que incentive o paciente a continuar a jogar, ao longo do tempo;
- Criar, no jogo, um ambiente agradável, que motive o doente a realizar, de uma forma até divertida, o programa terapêutico apropriado, durante o tempo necessário.

Face aos objetivos que se pretende atingir, orientar-se-á este estudo no sentido de encontrar respostas para as seguintes questões:

- Terá o jogo a capacidade de se ajustar a pacientes com diferentes níveis de inaptidão física?
- Haverá possibilidade de se fazer a monitorização dos exercícios enquanto estão a ser

executados?

- Será o sistema capaz de informar a equipa de investigação, os profissionais de saúde e o paciente sobre o desempenho deste último, na realização de qualquer exercício?
- Conseguir-se-á a adaptação de exercícios específicos da fisioterapia tradicional a situações de jogo eletrónico?
- Poder-se-á desenvolver um modelo de jogo com uma forma de *feedback* que desperte o interesse do paciente para continuar a jogar?
- Cumprirá o jogo sério o objetivo de promover a motivação dos pacientes com doença neurológica para a realização da fisioterapia necessária para manterem a sua independência, durante o máximo tempo possível?

O processo de desenvolvimento do produto baseou-se no paradigma clássico, na sua versão de modelo em espiral. Para estudar a motivação dos pacientes e o interesse dos profissionais de saúde, seguiu-se uma metodologia de estudo de caso, baseada num inquérito por questionário e na observação não estruturada. Para a *performance* dos pacientes, utilizaram-se os dados recolhidos de forma automática, através do *software*.

1.5. Estrutura da Tese

O presente documento encontra-se organizado em oito capítulos. O segundo capítulo, “Estado da Arte”, incide numa revisão de literatura que abrange um percurso histórico dos jogos sérios, até ao presente, bem como a referência a alguns jogos sérios utilizados nas áreas da fisioterapia e da reabilitação motora. No terceiro capítulo, “Processamento de Imagem Digital”, são apresentadas as diferentes etapas e técnicas tradicionais utilizadas nesta temática. No quarto capítulo, “Desenvolvimento Preliminar”, são explicadas as etapas que precederam o desenvolvimento da solução final. No quinto capítulo, “Desenvolvimento do Jogo”, descreve-se o procedimento utilizado no desenvolvimento do sistema final. No sexto capítulo, “Metodologia”, descreve-se a experiência levada a cabo para se conseguir a consecução dos objetivos propostos e dar respostas às questões de investigação colocadas. O sétimo capítulo, “Resultados – Análise e Discussão”, refere-se à apresentação, análise e discussão dos resultados obtidos com a experiência efetuada. Por último, no oitavo capítulo, “Conclusão”, apresentam-se as conclusões finais, bem como sugestões para futuras investigações.

1.6. A Reter deste Capítulo

Os neurónios são as células responsáveis por conduzirem todas as informações até ao encéfalo, que as processa, e a partir deste, para os órgãos efetores. Quaisquer lesões nos neurónios comprometem a transmissão das informações, dando origem às doenças neurológicas. De uma maneira geral, estas lesões não podem ser reparadas, visto que os neurónios não se dividem. No entanto, o avanço das investigações neste campo levou à descoberta da neuroplasticidade, uma propriedade que permite que eles se reorganizem estrutural e funcionalmente, levando a uma evolução clínica positiva dos pacientes, precisando, contudo, de ser estimulada.

No caso de doenças neurológicas que afetam os movimentos, a melhor forma de estimular a neuroplasticidade é a prática da fisioterapia. Porém, esta utiliza exercícios enfadonhos e repetitivos, que desmotivam os pacientes. Diversos estudos têm mostrado que os jogos sérios proporcionam ambientes agradáveis e possuem elementos que motivam os pacientes e os levam a abstrair-se dos seus tratamentos. Assim, propõe-se como objetivo deste trabalho desenvolver um jogo sério, baseado em técnicas de processamento de imagem, para motivação e monitorização de exercícios fisioterapêuticos de pacientes com doenças neurológicas.

Capítulo 2

REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo inicia-se com uma resenha histórica relativa ao papel desempenhado pelo jogo, nas diferentes culturas, desde os tempos de antanho até aos dias de hoje. Descrevem-se, também, os diferentes jogos sérios que foram surgindo, nos últimos anos, como resultado do trabalho de investigadores, com o objetivo de otimizar as condições de vida de inúmeros pacientes com problema de mobilidade.

2.1. Jogos Sérios – Um Percurso Histórico

Retrocedendo-se até aos seus primórdios, constata-se que o jogo tem acompanhado e marcado as diferentes culturas, desde as mais distantes origens até à fase de civilização que hoje se atravessa, quer tenha sido por meio da arte, da vida militar, da religião, da poesia, ou da educação. E durante este longo período, foi visto por diversos autores como sendo algo fútil, voltado para o entretenimento, enquanto, por outros foi reconhecido como sendo extremamente importante no desenvolvimento humano e cognitivo (Duflo, 1997).

De facto, esta dicotomia de opiniões parece ter uma certa razão de existir, pois o facto de uma mesma ação poder ser ou não um jogo depende do significado que lhe é atribuído, tendo em conta os diferentes contextos em que ela se insere. Considere-se, por exemplo, o caso de uma criança indígena que atira em pequenos animais com um arco e uma flecha. Obviamente, um observador externo vê esta ação da criança como uma brincadeira, portanto um jogo; porém, a comunidade indígena a que ela pertence encara-a como uma preparação para a arte da caça, necessária à sobrevivência da sua tribo. Este simples exemplo é suficiente para se perceber a dificuldade de elaborar uma definição de jogo que abranja toda a multiplicidade de formas que ele pode tomar (Kishimoto, 1994).

A mesma dificuldade se encontra na distinção entre jogo sério e não sério. Se existem autores para quem todos os jogos têm propósitos sérios, para outros não se trata, sequer, de um jogo, se o objetivo não é o entretenimento. Com efeito, é suposto que a finalidade dos primeiros jogos, precursores dos atuais jogos de tabuleiro, consistia em adivinhar os desejos dos deuses relativamente ao Homem, que, acabado de descer do seu habitat natural, a árvore, para passar a viver em sociedade, precisava de conhecer o novo mundo onde se instalara (Barros C. P., 2010).

Põe-se, então, a questão: será a adivinhação um propósito sério? O significado da palavra “sério” depende da perspetiva da sociedade: a utilização da adivinhação, naqueles tempos de antanho, corresponderá, 2 000 d.C., ao uso da ciência para se desvendar a complexidade do Universo e para se compreender a realidade (Weisskopf, 1977).

Recuando no tempo até se chegar à Velha Roma ou ao Antigo Egito, constata-se que os povos que habitavam nestas regiões praticavam jogos para que os adultos, com a sua experiência, transmitissem, aos mais jovens, valores, conhecimentos, normas e padrões de vida (Almeida, 1998).

Também na cultura da Grécia milenar, os jogos eram um elemento muito presente, todos eles com

finalidade religiosa, já que os gregos homenageavam os seus deuses, na busca da perfeição. Disputados pela primeira vez no ano 776 a.C., os Jogos Olímpicos superavam todos os outros (Rocha, 2009).

Durante séculos, na velha sociedade tradicional, a criança, logo que adquiria algum desembaraço físico, começava a conviver com os adultos, partilhando dos seus trabalhos e dos seus jogos, que lhe garantiam a aprendizagem (Ariès, 1978). Platão considerava que aprender, brincando, deveria sobrepor-se à violência e à repressão (Almeida, 1998).

Com a expansão do cristianismo, que qualificava os jogos como profanos, imorais e delituosos, o interesse por eles começou a decair na razão inversa desse crescimento. Contudo, esta atitude da Igreja Católica foi absolutamente reprovada pela Companhia de Jesus, fundada no século XVI. Desde cedo, os jesuítas perceberam as possibilidades educativas dos jogos, tendo-se proposto a aceitá-los e a integrá-los oficialmente nos seus programas e regulamentos, desde que os pudessem escolher, regulamentar e controlar (Ariès, 1978).

Em meados deste mesmo século, quando a História da Europa estava a ser marcada pelo período renascentista e o Humanismo se ia expandindo, os neoplatónicos passaram a utilizar, na literatura, a expressão *serio ludere*, sempre que o escritor recorria ao humor, para tratar de assuntos mais sérios. É o caso do humanista Michel Eyquem de Montaigne, cujo estilo literário usava um tom leve e bem-humorado para denunciar problemas sociais. Também pensadores e cientistas utilizavam ficções divertidas para exprimirem as suas ideias (Ponte N. F., 2013.; Kasbi, 2012).

No século XVII, não repugnava ver crianças a utilizar dinheiro, em jogos de cartas ou de azar (Ariès, 1978). É oportuno voltar a fazer-se a pergunta: poderão classificar-se como sérios tais objetivos de jogo? E a resposta vem com a afirmação: foram as apostas relativas a estes jogos que despoletaram os estudos da teoria das probabilidades, que é, hoje, um importante ramo da matemática.

No século XVIII, os jogos de exercício físico, que constavam entre os que a Companhia de Jesus autorizava, passaram a ser aconselhados pelos médicos, para exercitar o corpo e a mente. Nos finais deste mesmo século, este tipo de jogos passou a ter outra finalidade: preparar os jovens para a guerra. Por esta altura, começaram a despontar os nacionalismos modernos, pelo que o treino militar se tornou uma necessidade. Estabeleceu-se, assim, uma espécie de “laço familiar” entre os jogos educativos dos jesuítas, a ginástica dos médicos, o treino dos soldados e as necessidades do patriotismo (Ariès, 1978).

Embora não relacionado com o treino militar, é importante referir um jogo inventado pelo nobre Hellwing, em 1789, que é muito semelhante aos modernos jogos de guerra e é a primeira referência conhecida de jogos de simulação. Este jogo foi posteriormente melhorado por um estudioso de estratégia militar. Servia apenas para divertimento, mas não demoraria muito tempo a ser descoberta uma utilidade prática, pela mão de um oficial do exército que, em 1824, o tornou mais sofisticado, tendo-lhe introduzido importantes recursos. O novo jogo, que foi chamado *Kriegsspiel*, destinava-se ao adestramento de oficiais do exército prussiano, no que se refere às suas capacidades estratégicas e militares, podendo ser considerado o primeiro jogo sério em contexto militar. Depois de terminada a guerra franco-prussiana, os ingleses construíram a sua versão deste jogo, a que chamaram *The Game of War*, e que utilizavam para o treino de táticas militares do exército. Ao longo do século XX, os jogos de guerra foram-se aperfeiçoando e ganhando novas características, de tal forma que reproduziam as condições reais de grandes batalhas históricas, com todos os detalhes (Kiffer, 2014).

O professor, historiador e filósofo holandês Johan Huizinga, na sua obra de 1938, a que chamou *Homo Ludens*, entende o jogo como uma atividade tão essencial à vida como o raciocínio e o fabrico de objetos, mas diferente da vida quotidiana. Esta diferença é explicada pelo isolamento, pela limitação na duração e no espaço: limitação no espaço, na medida em que ocorre num determinado terreno de jogo, isto é, num lugar isolado, fechado, onde existem regras a serem respeitadas, ou seja, num mundo temporário, dentro do mundo habitual; na duração, porque é realizado num intervalo de tempo em que o jogador se evade da vida real, para criar uma segunda existência, noutra espaço transitório (Huizinga, 1949).

Esta visão de Huizinga, já a uma certa distância no tempo, parece ter sido uma premonição do que atualmente está a acontecer na moderna sociedade audiovisual, onde os jogos tradicionais são substituídos pelos jogos eletrónicos. De facto, o Homem sempre procurou que, em cada época, as suas atividades lúdicas acompanhassem a evolução das sociedades. Desta forma, quando as novas tecnologias se fizeram anunciar, ele sentiu-se atraído pelo desafio de lhes adaptar os jogos já existentes. E assim nasceu, na década de 50 do século XX, a indústria dos jogos eletrónicos, que, tendo-se iniciado timidamente, a passos rápidos se haveria de tornar numa das mais ricas, dinâmicas e promissoras áreas da economia global. Tais jogos exibem, num monitor, imagens dinâmicas, com as quais o jogador pode interagir, obedecendo a um conjunto de regras que lhe permitem alcançar um objetivo. Transformadores de comportamentos, construtores de identidades, eles apresentam, por vezes, cenários tão verossímeis de realidades inventadas, que o jogador imerge

neles, como se, efetivamente, se tratasse de uma extensão da vida real (Araújo E. M., 2015; Bello, 2013).

Algumas tentativas de criação de jogos eletrônicos ocorreram nos finais da década de 40 e princípios da década de 50, do século XX, mas todos os esforços realizados nesse sentido acabaram por deixar de parte o entretenimento, ou porque não era este o seu objetivo, ou porque chocaram com barreiras tecnológicas. Para exemplificar, refere-se, como primeira experiência nesta área, o desenvolvimento, em 1947, de um simulador de mísseis que fazia uso de um tubo de raios catódicos, uma tecnologia muito rudimentar sem a capacidade de mostrar o jogo num ecrã gráfico. Uma outra teve lugar em 1951, quando uma empresa britânica do ramo de engenharia elétrica criou, com um peso superior a uma tonelada, o computador *Nimrod*, com a única função de executar uma versão eletrónica do jogo *Nim*, um ancestral jogo matemático, possivelmente de origem chinesa. O objetivo de tal criação desviou-se do divertimento, para se fixar na demonstração da capacidade de processamento da nova tecnologia desenvolvida (Pereira, 2014).

Em 1952, foi a vez de Alexander Shafro Douglas apresentar o OXO, também conhecido por Zeros e Cruzes (*Noughts and Crosses*, em inglês), baseado no tradicional “jogo da velha”. Era executado pelo EDSAC (sigla para *Electronic Delay Storage Automatic Calculator*), o primeiro computador, a nível mundial, com capacidade para armazenar os seus próprios programas, uma máquina de elevada dimensão e excessivamente dispendiosa. Funcionando exclusivamente no computador em que foi criado, por essa altura o único no Mundo, o jogo de Douglas não se popularizou, tendo apenas servido para demonstrar a interação homem-computador, o tema da sua tese de doutoramento na Universidade de Cambridge, no Reino Unido (Stanton, 2015).

O *Brookhaven National Laboratory*, que foi originalmente construído para explorar as aplicações pacíficas da energia atômica, abria as suas portas ao público que pretendia conhecer o poderio nuclear norte-americano. Para que a visita, normalmente aborrecida, se tornasse agradável, o físico Willy Higinbotham, que aí trabalhava, criou, em 1958, um jogo que simulava uma partida de ténis, a que chamou *Tennis for Two*, mostrado num osciloscópio e processado por um computador analógico. Este jogo nunca foi patenteado, porque o seu autor desconhecia o enorme potencial da sua invenção (Reis, 2005). Foi o primeiro jogo eletrónico a ser executado pelo público e o primeiro que foi desenvolvido para fins puramente de entretenimento (Nyitray, 2011).

O mais recente computador do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) era, no ano de 1961, o PDP-1, com um monitor, que lhe havia sido doado pela *Digital Equipment Corporation*. Comparado

com os seus antecessores, era mais pequeno – tinha a dimensão de um grande automóvel –, sendo 120 000 dólares americanos o seu “reduzido” preço de venda. Era muito comum, neste instituto, a existência de jovens génios, alguns dos quais eram membros do grupo *Tech Model Railroad Club* (TMRC). Os elementos deste clube depressa se sentiram atraídos pela recente maravilha tecnológica, e decidiram explorar o novo *hardware*, criando algo novo para a comunidade dos amantes dos computadores, o que culminou no desenvolvimento do jogo interativo a que chamaram *Spacewar* (Kent, 2010).

Ainda que inicialmente tivessem pensado em obter lucros com o jogo, depressa concluíram que isso não seria possível. No entanto, a *Digital Equipment Corporation* decidiu incluí-lo, gratuitamente, em cada PDP comercializado, como programa de diagnóstico para testar equipamentos. Foi desta forma que o *Spacewar* se espalhou para outros centros de investigação, por todo o país (EUA), tornando-se, deste modo, no primeiro jogo eletrónico a ser utilizado em múltiplas instalações de computadores (Kent, 2010).

Por razões óbvias, nenhum dos jogos eletrónicos referidos esteve disponível para o público em geral, sendo fácil, por isso, compreender o motivo pelo qual os autores do *Spacewar* afastaram a ideia de obter lucros com a sua inovação. Um jogo é um *software*, que depende de um *hardware* para poder funcionar, o que faz perceber a estreita relação que existe entre os jogos eletrónicos e as tecnologias informáticas. E aquando do aparecimento deste jogo, o *hardware* era simplesmente inacessível à sociedade em geral.

Uma versão melhorada do *Spacewar* foi conseguida por Nolan Bushnell e Ted Dabney, em 1970. Possuindo como plataforma um dispositivo que apenas o aceitava, o *Computer Space* (assim foi chamada a nova versão) tornou-se o pioneiro dos arcades modernos (Barros C. P., 2010).

Tendo-se questionado sobre outros usos que a televisão podia proporcionar, Ralph Bauer descobriu uma forma de transmitir, para este meio audiovisual, imagens digitais que podiam ser controladas, o que resultou na construção de um protótipo. Depois de o patentear, apresentou-o a várias empresas, tendo sido aceite pela Magnavox, que, com ele, lançou, em 1972, a primeira consola doméstica de jogos eletrónicos – a *Odyssey* (Reis, 2005; Silva, 2013).

Percebendo que os jogos eletrónicos poderiam constituir um negócio lucrativo, os autores do *Computer Space* fundaram, neste mesmo ano de 1972, a Atari, a primeira empresa, a nível mundial, destinada especificamente ao desenvolvimento deste tipo de jogos. Não se fazendo esperar, a Atari lançou, ainda no ano da sua fundação, o jogo *Pong*, um arcade que rapidamente conquistou o

público, pela sua simplicidade e pela diversão que oferecia. Foi tal o impacto deste jogo que, nos anos subsequentes, diversos fabricantes, por todo o Mundo, foram produzindo versões modificadas do mesmo, tendo surgido, no mercado, um grande número de consolas diferentes. Isto leva a dizer que o *Pong* deu início e foi o impulsionador da grande indústria do entretenimento eletrónico (Reis, 2005).

A partir daqui, os jogos eletrónicos foram alvo de um intenso desenvolvimento tecnológico que foi acompanhado, passo a passo, pela evolução do *hardware* do qual eles dependiam, o que permitiu vencer as limitações impostas pelo seu tamanho e pelo seu custo. Com efeito, as consolas tornaram-se cada vez mais sofisticadas, destronando os arcades e provocando o deslocamento dos locais de jogo do espaço público para o privado; depois, surgem os computadores pessoais e os portáteis, com plataformas de jogos específicos; a seguir, assiste-se à popularização da Internet, que permite o divertimento através dos jogos *online*; mais recentemente, os telemóveis e os *tablets* passaram também a ser plataformas de jogo (Bello, 2013). Tudo isto contribuiu para que a indústria dos jogos eletrónicos se elevasse até ao lugar cimeiro que hoje ocupa.

O percurso evolutivo do jogo aqui apresentado, parece corroborar a opinião daqueles investigadores que acreditam que todo o jogo tem uma finalidade séria. Porém, o conceito de “jogo sério”, conforme é entendido no presente, configura as características de um jogo eletrónico que, juntando o útil ao agradável, deixa de dar primazia ao entretenimento, propondo-se resolver problemas em diferentes áreas, de forma lúdica.

A indústria dos jogos eletrónicos cresceu focada no entretenimento. Todavia, muitos dos jogos lançados no mercado foram concebidos para propósitos sérios, em setores diversificados, tais como educação, saúde, treino militar, publicidade, embora ainda não existisse, para eles, o rótulo de “jogos sérios”, sendo, por isso, considerados os seus ancestrais mais próximos. A expressão “jogos sérios” só passou a ser largamente utilizada a partir de 2002 (Djaouti, Alvarez, Jessel, & Rampnoux, 2011).

Com efeito, foi nesta data que o exército americano desenvolveu e publicou o jogo *Americans' Army*, com o objetivo de atrair recrutas, mostrando-lhes o ambiente para o qual deveriam estar preparados, ou seja, a realidade que se vivia nesse meio. Foi um dos jogos mais praticados no Mundo, podendo até dizer-se que foi ele que despoletou o movimento dos jogos sérios (Nieborg, 2004).

Os pioneiros revelaram uma predominância clara de jogos educativos. No entanto, no universo dos que se enquadram na atual onda de jogos sérios, a fatia de mercado relativa à educação tem vindo

a diminuir, a favor das restantes, contribuindo, assim, para a suavização da heterogeneidade da repartição pelos diferentes setores (Djaouti et al., 2011).

Nos últimos anos, e no que se refere à utilização de jogos sérios, a área da saúde tem vindo a verificar um forte impulso, particularmente, nos ramos da fisioterapia e da reabilitação.

2.2. Jogos Sérios Usados em Fisioterapia e Reabilitação

“Cada jogo reforça e estimula qualquer capacidade física ou intelectual. Através do prazer e da obstinação, torna-se fácil o que inicialmente era difícil ou extenuante”. Estas palavras são uma tradução de um pequeno excerto de uma obra de Roger Caillois (1991, pg. 21), mas que merecem, por certo, o consenso de todos os que veem, no jogo, uma ferramenta com um enorme potencial para otimizar a qualidade de vida das pessoas que têm problemas de mobilidade. É a prova disso está na proliferação dos jogos sérios, utilizados nas áreas da fisioterapia e da reabilitação, a que ultimamente se vem assistindo. Sem que se pretenda uma enumeração exaustiva, referir-se-ão, aqui, alguns dos que obtiveram efeitos positivos, aquando da sua experimentação.

Num estudo levado a cabo por Minhua Ma e Kamal Bechkoum (2008), é descrita, em detalhe, uma terapia de movimento baseada em jogos sérios, projetada para convencer as vítimas de AVC, com distúrbios motores dos membros superiores, a praticarem exercícios de fisioterapia, em ambientes de realidade virtual (RV), altamente motivadores. O sistema usado permite a interação, em tempo real, do utilizador com objetos virtuais, que podem ser alcançados, apertados, capturados, através de várias modalidades, e a prática de capacidades motoras específicas, tais como resistência, destreza, velocidade e amplitude de movimento. É possível definir vários fatores, como tamanho dos objetos a manipular e valores da ação gravidade, para que o jogo se adapte às capacidades individuais do doente.

Na experiência foram utilizados jogos como: o jogo *Catch-the-Orange*, onde o utilizador tem um cesto virtual para apanhar as laranjas que caem, de uma maneira aleatória, para uma determinada área; o jogo *Fishing*, em que o jogador está num mundo subaquático e usa as mãos para capturar os peixes que estão nadar na água, aleatoriamente; o jogo *Whack-a-Mouse*, (Figura 1) no qual um rato aparece numa localização aleatória, desaparecendo após alguns segundos (tempo real definido em função do perfil do paciente), para reaparecer noutro lugar, devendo o jogador tentar atingi-lo com um martelo virtual, enquanto ele está parado (Ma & Bechkoum, 2008).



Figura 1 – Jogo *Whack-a-Mouse* (Ma & Bechkoum, 2008)

Broeren et al. (2008) desenvolveram um projeto cujo objetivo consistiu em avaliar um sistema baseado em RV, quando utilizado como ferramenta ao serviço da terapia de pacientes confrontados com reduzida mobilidade dos membros superiores, após haverem sofrido um AVC. Por meio de um dispositivo tátil (uma caneta), posicionado na linha de visão, o paciente, situado no mundo real e utilizando óculos estereoscópicos, consegue chegar a um mundo virtual, criado pelo computador, onde pode interagir com objetos 3D.

A biblioteca deste sistema oferece um conjunto de atividades e de jogos envolventes, que, ao mesmo tempo que entretêm o paciente, são benéficos para a sua reabilitação. Cada vez que é executada uma atividade, são recolhidos e analisados dados relativos aos movimentos, em ambiente 3D, da mão do paciente. Ao integrar funcionalidades de jogo em ambientes virtuais, esta tecnologia aumentou a motivação dos doentes submetidos a fisioterapia, depois de um AVC (Broeren, et al., 2008).

Reconhecendo que os profissionais de saúde, da área da fisioterapia, enfrentam frequentemente alguns problemas, tais como o desempenho dos exercícios de fisioterapia por parte dos pacientes, a evolução da doença e o desconhecimento do paciente sobre se está ou não a executar corretamente os exercícios, Martin-Moreno, Ruiz-Fernandez, Soriano-Paya e Berenguer-Miralles (2008) propuseram uma solução baseada na utilização do controlo remoto da *Wii*, complementada

com o *software* que permitia ao paciente usar o sistema de uma forma fácil, intuitiva e interativa. Assim sendo, este projeto desenvolveu uma primeira aplicação, para que os pacientes pudessem realizar exercícios de reabilitação das articulações dos membros superiores. Uma segunda aplicação foi desenvolvida para permitir ao fisioterapeuta monitorizar os exercícios realizados pelo paciente, modificá-los ou seguir o progresso da lesão, através dos serviços *web*.

A equipa formada pelos investigadores Szturm, Peters, Otto, Kapadia e Desai, (2008) desenvolveu e testou um sistema de entretenimento interativo que combina a manipulação de objetos com o exercício. Para isso, estes investigadores criaram um dispositivo de interface personalizado, que utiliza um sensor de rastreio de movimento, para transformar qualquer objeto num rato de computador ou num *joystick*. Este sistema pode utilizar qualquer jogo comercial, o que oferece várias vantagens, como, por exemplo, satisfazer a preferência de cada indivíduo e dispor de uma diversidade de jogos de baixo custo, para evitar o aborrecimento e promover a motivação. A terapia que ele proporciona baseia-se em tarefas específicas relacionadas com a função da mão e do dedo, realizadas através de uma variedade de objetos comuns, ferramentas e utensílios, que variam no tamanho, na forma e no aspeto da superfície. É possível configurar o nível de dificuldade dos parâmetros, o que converte os exercícios fisioterapêuticos em desafios.

O projeto de Niels de Ruiters, et al. (2008) consistiu em desenvolver um sistema de reabilitação portátil (Figura 2), para uso doméstico, baseado em RV, direcionado para a fase inicial da fisioterapia de pacientes que, em consequência de lesões da espinal medula, perderam a função das mãos, dos pulsos e a extensão do cotovelo. É constituído por três módulos principais: um dispositivo de exercício, um computador e um monitor.

No dispositivo, encontra-se um sistema de travagem que utiliza uma embraiagem simples, para ajustar o grau de dificuldade dos exercícios. Também neste módulo, se encontra estrategicamente colocado um LED (*Light Emitting Diode*) de infravermelhos, que aponta para um local na área de jogo, de modo a permitir que uma câmara *web* de infravermelhos, a ele ligada, e consequentemente integrada no dispositivo, monitorize facilmente o movimento do paciente, enquanto ele executa um jogo eletrónico. O computador, além de facultar a plataforma do jogo, determina a posição do LED de infravermelhos e, consequentemente, o movimento do dispositivo, através do processamento das imagens capturadas. O sistema de jogo atualiza, diretamente no monitor, os dados relativos ao estado do jogo, os quais ficam acessíveis ao paciente. Todos os dados registados são armazenados no mesmo sistema de jogo, sendo atualizados no monitor, no final de cada sessão, podendo ser

vistos pelo paciente e pelo fisioterapeuta (Ruiter, et al., 2008).

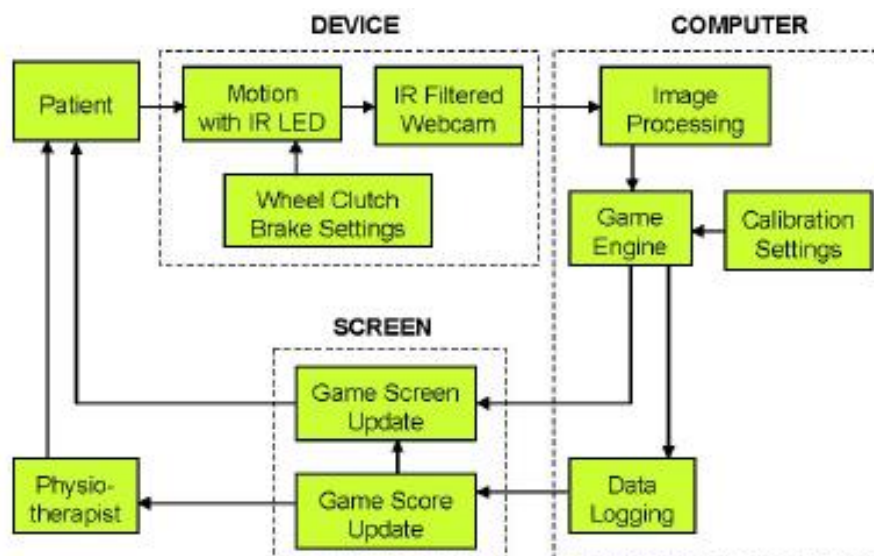


Figura 2 – Diagrama do sistema de fisioterapia de reabilitação (Ruiter, et al., 2008)

Tendo a literatura mostrado que a tecnologia tem potencial para melhorar os tratamentos fisioterapêuticos e que pode ser uma forma importante e eficiente de proporcionar a reabilitação de pessoas que sofreram um AVC, Burke, et al. (2009), da Universidade do Ulster, desenvolveram uma variedade de sistemas, integrando ambientes virtuais tridimensionais, sensores e câmaras, para controlar os movimentos dos membros superiores efetuados no mundo real.

No sentido de imitar as atividades funcionais reais, estes investigadores conceberam diferentes tarefas para o ambiente virtual, que incluem chegar, apertar, mover e largar uma variedade de objetos usados no dia a dia, tendo surgido na forma de quatro jogos que utilizam tecnologias de realidade virtual e de captura de vídeo: *Rabbit Chase*, projetado para a reabilitação de um só braço; *Arrow Attack*, para a reabilitação de ambos os braços; duas variantes do *Bubble Trouble*, uma para a reabilitação do braço afetado e outra que exige o uso dos dois braços. Como estes jogos utilizam *hardware* de RV, não podem ser utilizados em casa, mas a equipa tem tentado procurar opções de mais baixo custo, para tornar possível a implementação desta terapia em ambiente doméstico (Burke, et al., 2009).

Tendo em conta a diminuição das capacidades motoras das pessoas com idades avançadas, e considerando os potenciais benefícios dos jogos sérios, quando utilizados em fisioterapia e reabilitação, S. T. Smith et al. (2009) desenvolveram um conjunto de jogos DDR (sigla para *Dance Dance Revolution*, na língua inglesa), para serem utilizados em ambiente doméstico, incentivando,

assim, as pessoas idosas a participarem nos seus tratamentos. Estes investigadores projetaram, também, um sistema de monitorização móvel para supervisionar, remotamente, o desempenho do paciente enquanto cumpre o programa prescrito, sem ter de sair de casa, ao mesmo tempo que mantém o profissional de saúde informado sobre o seu comportamento e a sua evolução, não precisando de o observar fisicamente, na mesma sala.

Sabe-se que em planos de tratamento de doenças com deterioração de movimentos, tais como AVC, lesão cerebral adquirida, doença de Parkinson e problemas ortopédicos, os problemas de fraca adesão e de técnicas inadequadas podem ser minimizados com sistemas que combinam computadores, interfaces especiais e exercícios de simulação utilizados para treinar os pacientes de uma forma atrativa e motivadora. Nesse sentido, o grupo de investigadores O'Huiginn, Smyth, Coughlan, Fitzgerald e Caulfield (2009) desenvolveu um desses sistemas, denominado *FlyFit*, que permite aos fisioterapeutas projetarem níveis de jogo que irão induzir os pacientes a realizarem corretamente os seus programas de exercícios. O paciente executa um jogo de computador, utilizando um controlo baseado num sensor, de modo que, se jogar bem, está a realizar corretamente o exercício prescrito.

O *FlyFit* é composto por uma interface de monitorização de movimento, um *software* do fisioterapeuta e um *software* do paciente. A interface de monitorização de movimento utiliza um sensor pequeno, leve e robusto, capaz de detetar a sua orientação no espaço tridimensional; o *software* do fisioterapeuta proporciona-lhe uma interface gráfica simples, para criar e monitorizar o programa de exercício, permitindo definir os parâmetros de jogo, nomeadamente escolher o grau de dificuldade e selecionar um mundo virtual particular; o *software* do paciente fornece-lhe uma interface semelhante à do fisioterapeuta, que lhe possibilita concluir o programa, de forma eficaz (O'Huiginn et al., 2009).

Não tendo dúvidas da importância de oferecer programas de reabilitação aos pacientes com disfunção dos membros superiores, em consequência de esclerose múltipla, Lode Vanacken et al. (2010), equipa de cientistas nas áreas da reabilitação e de computadores, levaram a cabo um estudo para investigar a viabilidade e a eficácia de um dispositivo de retorno de força, combinado com um ambiente virtual. Além disso, através dos resultados de outros estudos, os membros da referida equipa estavam conscientes de que é necessário manter o interesse dos pacientes para que continuem os seus programas de fisioterapia, tanto tempo quanto o necessário, e de que os conceitos de jogo promovem o envolvimento nas diversas tarefas.

Deste modo, desenvolveram um jogo colaborativo de reabilitação para utilizarem na sua experiência de investigação (Figura 3). Este jogo foi projetado de forma a que o paciente tenha de realizar movimentos adequados à sua doença, mas que o levam a acumular pontos ou a ganhar o jogo. Na maioria dos jogos, a pontuação é um dos fatores que mais encoraja o jogador a procurar um melhor desempenho. Estes investigadores procuraram, ainda, perceber o quão benéfico pode ser o contributo do apoio social na motivação dos pacientes, seja ele proporcionado pela família, por amigos, por outros pacientes, ou por fisioterapeutas. Por essa razão, o jogo desenvolvido é colaborativo, isto é, ainda que possa ser utilizado por um só paciente, pode também ser disputado por dois, ou, então, por um paciente e uma pessoa saudável (Vanacken, et al., 2010).

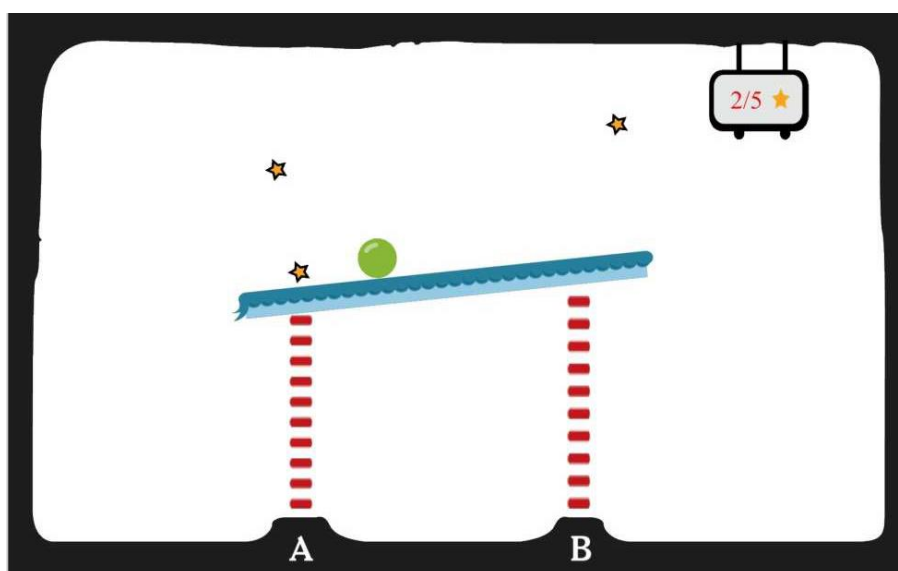


Figura 3 – Jogo colaborativo (Vanacken, et al., 2010)

Alankus, Lazar, May e Kelleher (2010) reuniram-se com fisioterapeutas, no sentido de descobrirem algumas características que deveriam estar presentes nos jogos destinados à reabilitação de pacientes vítimas de AVC, tendo identificado, entre outras, o contexto social. Para terem em conta este atributo, desenvolveram jogos para múltiplos jogadores, competitivos ou colaborativos, mais motivadores do que os destinados a um só jogador, embora alguns destes últimos constem do rol dos que eles apresentam. De entre as criações desta equipa, referir-se-ão, de uma forma bastante sucinta, apenas o *Dirt Race*, o *Helicopter* e o *Garden*.

O *Dirt Race* é um jogo colaborativo para dois jogadores, consistindo num camião que está a atravessar uma aldeia, imersa numa nuvem de gafanhotos. O paciente controla manualmente um limpador para afastar os animais, de modo a que o outro jogador possa conduzir o camião, com

segurança. O *Helicopter* destina-se a um só utilizador, que deve controlar um helicóptero, de forma a assegurar a recolha, no ar, de células de combustível, e a evitar a colisão com os edifícios. A reprodução de movimentos semelhantes aos que resultam das atividades da vida diária surgiu com o *Garden*, para um só jogador, que tem de destruir as ervas daninhas de um jardim, conservando as flores e fazendo explodir dinamite sobre as plantas nefastas. Todos estes jogos se destinam à reabilitação dos membros superiores (Alankus et al., 2010).

A terapia *Neurogame*, proposta pela equipa de Moritz et al. (2011), consiste num sistema a ser utilizado em ambiente doméstico, tendo sido projetado para a reabilitação de pacientes com movimentos gravemente comprometidos, após um AVC. Trata-se de uma terapia que aproveita jogos já existentes, mas que utiliza um controlo do jogo diferente, baseado num circuito integrado personalizado, com elétrodos de eletromiografia de superfície sem fios que permitem captar movimentos muito pequenos. O sistema permite que o jogo possa ser ajustado em vários níveis de dificuldade.

WuppDi! é uma coleção de cinco jogos desenvolvidos pela equipa de Assad et al. (2011). São jogos direcionados para pacientes com doença de Parkinson, destinados a apoiar os seus exercícios de fisioterapia, em vários ambientes lúdicos. É possível utilizar o sistema projetado em grupos de fisioterapia ou em casa do paciente, instalando-o em *hardware* previamente existente, sem a necessidade de comprar equipamentos dispendiosos ou especiais.

Cinderella é um jogo que pode ser jogado por um máximo de três pessoas e que permite ao jogador esticar os braços e movê-los lateralmente ou em diagonal, para cima e para baixo, enquanto se desloca ao ritmo de uma música, imitando os movimentos de um príncipe *avatar* (Assad, et al., 2011).

Ali-Baba é jogado por um só paciente, que tem de encontrar um tesouro secreto escondido atrás da porta de uma caverna. À volta da porta existem botões, que são disparados quando o jogador estica os braços, o que faz abrir parte da porta, até que o tesouro é revelado (Assad, et al., 2011).

Town Musicians destina-se a um só jogador que tem de libertar as vozes dos músicos da cidade, presas em bolhas que se movem através do ecrã. Em primeiro lugar, ele vai usar uma rede para fazer parar as bolhas e, em seguida, vai rebentá-las com uma agulha. Este jogo exercita a coordenação entre ambos os braços e requer grandes movimentos contínuos para obter bolhas em todo ecrã (Assad, et al., 2011).

Frog Prince é um jogo para um único jogador, que tem de dirigir uma rã *avatar*, através de uma lagoa, recolher diversos itens e, finalmente, encontrar uma bola dourada. O jogo requer amplos movimentos circulares, movimentos isolados e movimentos síncronos dos braços (Assad, et al., 2011).

Com o objetivo de exercitar a mão, *Star Money* foi projetado para um ou para vários jogadores, e apresenta diferentes modos de jogo. Num dos modos, o paciente tem de controlar uma personagem que é uma menina, tentando recolher o máximo de moedas em forma de estrela cadente. Noutro modo, ela tem de seguir o rasto de uma estrela, de maneira a deixar que caiam estrelas do céu. O modo multijogador combina os dois anteriores, cada um jogado por uma pessoa (Assad, et al., 2011).

Călin, Cantea, Dascălu, Mihaiu e Suci (2011) desenvolveram um sistema que designaram por MIRA (*Medical Interactive Recovery Assistant*), composto por aplicações interativas e jogos tais como *BeatBalls*, *Puzzle* e *Butterfly*, para a monitorização dos movimentos dos jogadores e para a sua motivação, fornecendo um *feedback* estatístico sobre o seu desempenho e a sua evolução. Este sistema, que pode ser utilizado em ambiente doméstico, propôs-se ajudar o processo de reabilitação física dos pacientes com deficiências motoras dos membros superiores, causadas por problemas reumatóides, neurológicos ou ortopédicos.

Os exercícios implementados correspondem às necessidades específicas dos pacientes que necessitam de terapia de reabilitação, tendo sido recomendados e validados por especialistas médicos. Constituindo os fundamentos da terapia de reabilitação do membro superior, tais exercícios incluíam os movimentos básicos do braço: a extensão e a flexão do ombro e do cotovelo, a rotação do ombro, a destreza e os reflexos de toda a mão e o movimento detalhado dos dedos (Călin et al., 2011).

Fernández-Baena, Susí e Lligadas (2012), usando a *Kinect*, implementaram um jogo sério chamado *Rehabtimals*, para fins de reabilitações físicas, que simula um mundo virtual, onde um paciente recupera de uma lesão, enquanto um animal cresce e supera as situações com que se depara. Este jogo recolhe dados sobre os exercícios realizados pelo utilizador, os quais, através da aplicação *Rehabtimals Pro*, projetada para os fisioterapeutas, são convertidos em informações úteis para estes profissionais da saúde, permitindo-lhes controlar e gerir os tratamentos dos pacientes.

O jogo *Handcopter*, de baixo custo, foi desenvolvido por Souza e Santos (2012), para apoiar a recuperação da função motora da mão, em pacientes que tinham sofrido um AVC. De acordo com

estes autores, embora esta doença neurológica se possa manifestar em qualquer idade, é mais provável que afete pessoas com mais de cinquenta anos, uma geração que não está muito familiarizada com as novas tecnologias. Assim sendo, procuraram criar um ambiente familiar ao público-alvo esperado, tendo escolhido, como fundo, uma paisagem com casas típicas da região central do nordeste brasileiro, e incluindo elementos de jogo que poderiam trazer boas recordações, como os balões coloridos vulgarmente encontrados durante a celebração da festa de São João Batista. Neste jogo, o paciente tem de controlar um helicóptero, com os movimentos de flexão e extensão dos dedos da mão.

Da autoria de Vania Gabriella Balista (2013) e direccionado para avaliação e reabilitação de pacientes com problemas motores e neurológicos, o *PhysioJoy* é um sistema de realidade virtual, baseado em *Kinect* e num computador pessoal. No seu desenvolvimento, a autora propôs-se incluir, inicialmente, três jogos sérios, cada um dos quais dirigido a um tipo específico de lesão física ou intelectual: *Marcha com Obstáculos*, *Atividades no Parque* e *Montanha-Russa*.

No jogo *Marcha com Obstáculos*, o paciente segue uma pista linear num parque, tendo de evitar os obstáculos que vão emergindo e de colher o maior número de estrelas que vai encontrando, exercitando, desta forma, o equilíbrio e a coordenação motora dos membros inferiores (Balista, 2013).

O jogo *Atividades no Parque*, que utiliza um tabuleiro com nove quadrados, dispostos em três linhas e três colunas, funciona em três modos: o primeiro para treinar a memorização de cores; o segundo para melhorar a cognição e a agilidade; o terceiro para exercitar a cognição, mas também os membros inferiores e os superiores. Neste modo, aparecem sílabas nos quadrados do tabuleiro e são apresentadas palavras. O jogador deve mover-se, com os membros inferiores, até aos quadrados em que se situam as sílabas que lhe permitirão formar cada palavra. Para confirmar a seleção de cada sílaba, ele tem de erguer os braços (Balista, 2013).

No jogo *Montanha-Russa*, o jogador segue num carrinho, através dos trilhos de uma montanha russa, tendo como objetivo colher gemas coloridas e desviar-se de obstáculos, o que lhe facilita a reabilitação dos membros superiores (Balista, 2013).

Uma equipa de neurocientistas da Universidade de Newcastle desenvolveu um jogo a que deu o nome de *Circus Challenge*, destinado à reabilitação de vítimas de AVC. Os utilizadores deste jogo lançam tortas, domesticam leões, fazem malabarismo, praticam mergulho e voam no trapézio, para ganharem força e recuperarem as suas capacidades de movimento. À medida que os jogadores

progridem, o jogo aumenta o grau de dificuldade, para se ajustar ao ritmo da sua recuperação (Inggrit & Sanjaya, 2013). É possível executar este jogo em ambiente doméstico e com a ajuda de familiares e amigos. Além disso, a equipa de investigação planeou construir um sistema para permitir, aos fisioterapeutas, a monitorização remota do progresso do paciente. A investigação revelou que quarenta e cinco minutos diários de exercitação podem traduzir-se numa melhoria a curto prazo, sendo mais rápida do que a que é conseguida com a fisioterapia tradicional (Inggrit & Sanjaya, 2013).

Paraskevopoulos, Tseklevs, Craig, Whyatt e Cosmas (2014) desenvolveram dois jogos sérios que traduzem dois exercícios de fisioterapia prescritos pela *Parkinson's Disease Society*: o *Rowing* (Figura 4) e o *Steam Mini-Golf* (Figura 5). No jogo *Rowing*, o paciente tem de controlar um barco de dois remos, para chegar a um ponto específico, num determinado momento. O jogo foi projetado para permitir o uso simultâneo dos dois braços. Relativamente ao *Steam Mini-Golf*, o jogador tem de fazer rodar uma válvula, várias vezes, para libertar o vapor que vai empurrar uma bola para um buraco, dentro de um certo intervalo de tempo.

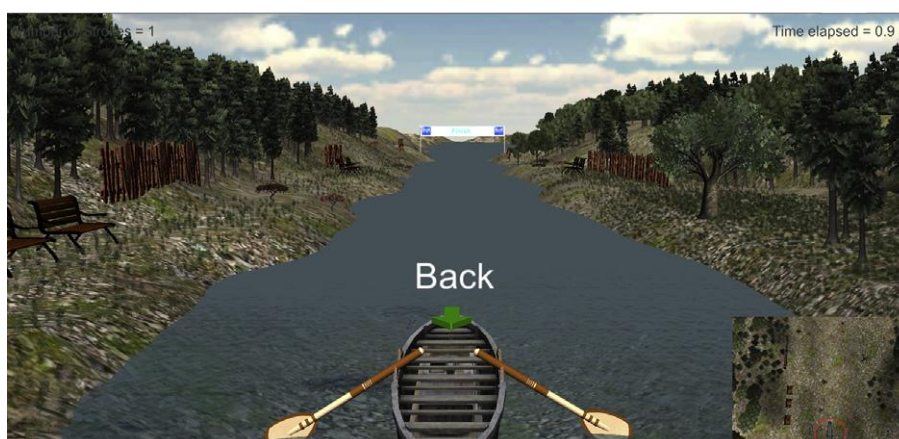


Figura 4 – O Jogo *Rowing* (Paraskevopoulos et al., 2014)

Em ambos os jogos, surgem várias pistas no monitor, para orientar o movimento do jogador; é utilizado som para definir o tempo de duração da ação que está a ser realizada (remo ou rotação); é possível regular o grau de dificuldade. Ambos foram projetados para oferecerem, ao fisioterapeuta, *feedback* em tempo real, e registarem os dados, para referência e análise posteriores. São tecnologias de baixo custo, que envolvem o participante e possibilitam a reabilitação em ambiente doméstico, de uma forma motivadora e atrativa (Paraskevopoulos et al, 2014).

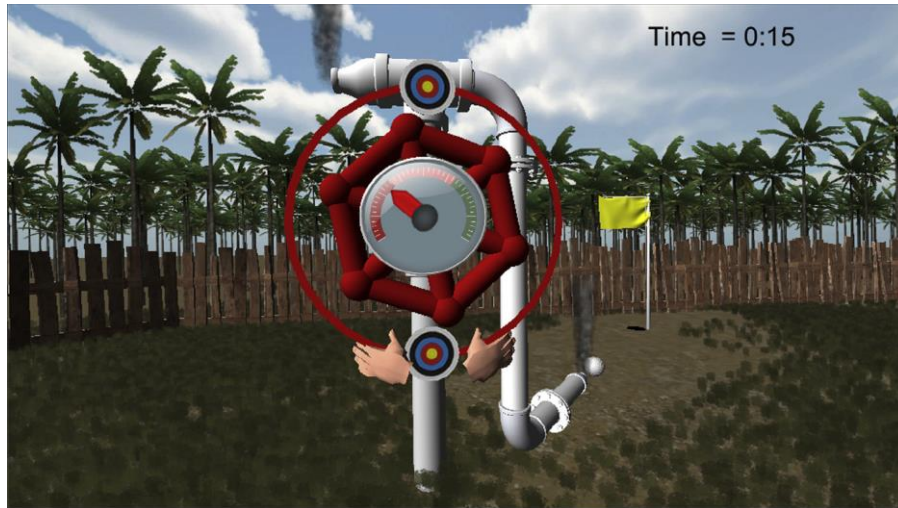


Figura 5 – O Jogo *Steam Mini-Golf* (Paraskevopoulos et al., 2014)

Um grupo de investigação em *software* industrial da Universidade de Tecnologia de Viena, Áustria, desenvolveu um jogo sério baseado em *Android*, o *WristDroid* (Figura 6), para apoiar a reabilitação do pulso. A funcionalidade principal consiste em padrões de movimento da fisioterapia convencional que foram transformados em minijogos. O jogo apresenta níveis de dificuldade diferentes para exercícios distintos (Baranyi, Reisecker, Lederer, Gobber, & Grechenig, 2014). No nível de iniciação, o jogador deve mover um “*Pacman*”, que se encontra num terreno plano, de forma a comer todos os frutos que são gerados de forma aleatória. Noutro nível, que se destina a melhorar os movimentos de supinação/pronação, flexão/extensão e desvio radial e ulnar do pulso, o paciente é orientado para desenhar um “oito” imaginário, escondido no jogo, que é um exercício utilizado em reabilitação. Para tal, ele tem de mover o “*Pacman*”, com o objetivo de recolher, pela ordem correta, as estrelas que vão aparecendo (Baranyi et al, 2014).

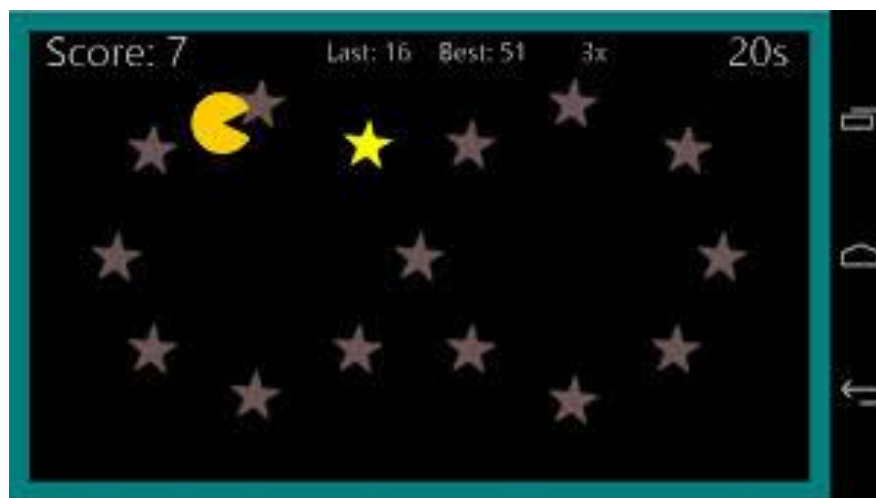


Figura 6 – Nível mais avançado do *WristDroid* (Baranyi et al., 2014)

A grande vantagem do *WristDroid* reside na possibilidade de ser utilizado num *smartphone*, o que significa que a terapia pode ser realizada em qualquer lugar. Depois de experimentarem com protótipos, os fisioterapeutas definiram a maneira correta de segurar o dispositivo, para maximizar o efeito da reabilitação durante a realização dos exercícios, evitando lesões, o que consiste em mantê-lo deitado na palma da mão do paciente, voltado para cima (Baranyi et al., 2014).

Como suporte à sua dissertação de mestrado, Ana Catarina Macedo (2014) desenvolveu um jogo sério, para a reabilitação dos pacientes com problemas motores, em consequência da doença de Parkinson, utilizando o sensor *Kinect*. Foi planeado para ser portátil e poder ser utilizado em ambiente doméstico. O jogo compreende quatro níveis: Normal, Números, Cores e Mãos.

No nível Normal, começam a cair bolas amarelas a partir do topo do ecrã, devendo o jogador tentar apanhar o máximo de bolas, no tempo definido. Para apanhar as bolas, o paciente tem de se deslocar para um e para o outro lado, e levantar as mãos e os braços (Macedo, 2014).

No nível Números, existem objetos que caem constantemente da parte superior do ecrã, marcados com números aleatórios de 1 a 4. O jogador deverá apanhar objetos que formem sequências de 1 a 4, por ordem crescente. Este desafio, além de permitir exercitar os movimentos da mão e do braço, apela à memória do paciente, que tem de lembrar-se do último número capturado, para saber qual deverá apanhar de seguida (Macedo, 2014).

No nível Cores, caem, de cima, bolas amarelas, azuis ou verdes. O objetivo é apanhar bolas da cor indicada num texto que se pode ver no ecrã e que permanece nele somente durante três segundos. Depois de o jogador apanhar cinco bolas da cor correta, o jogo escolhe aleatoriamente outra (ou a mesma) cor das bolas que o jogador deverá continuar a apanhar (Macedo, 2014).

O nível Mãos é semelhante ao normal, diferindo por lhe ter sido acrescentada uma nova restrição: uma caixa de texto aparece no ecrã durante três segundos indicando a mão com a qual o jogador deve capturar as bolas. A mudança de mão ocorre cada vez que cinco bolas são apanhadas com a mão correta. Tendo em conta a opinião de especialistas, o jogo foi projetado para a reabilitação das capacidades motoras das mãos, dos braços e da parte superior do tronco, que são mais suscetíveis de serem afetados por sintomas da doença de Parkinson (Macedo, 2014).

Na sua dissertação de mestrado, Suraj Ho (2014) apresenta três jogos para serem utilizados em fisioterapia e reabilitação: o *Jintronix*, *FysioGaming* e o *VirtualRehab*.

O *Jintronix* é uma plataforma de reabilitação virtual projetada para fisioterapia e terapia ocupacional, combinando movimentos de reabilitação comuns, jogos virtuais e o sensor *Kinect*. É usada especificamente para ajudar pacientes que sofreram um acidente vascular cerebral a melhorarem as suas funções motoras. Os utilizadores desta plataforma consideraram-na divertida e fácil de usar (Ho, 2014)

O *FysioGaming*, uma criação da empresa *Doutor Kinetic*, é um jogo que usa o sensor *Kinect* para monitorizar os utilizadores, durante seus exercícios. O seu principal objetivo é tornar divertida e fácil a execução de uma grande variedade de exercícios que ele disponibiliza, para incentivar a adesão aos programas de reabilitação (Ho, 2014).

O *VirtualRehab* (Figura 7) é um jogo desenvolvido pelo Grupo *Virtualware*, que usa o sensor *Kinect*. O jogo contém um conjunto de exercícios para serem utilizados em tratamentos de reabilitação, ao mesmo tempo que oferece aos médicos uma ferramenta para gerir os seus pacientes, podendo, assim, acompanhar o seu progresso (Ho, 2014).

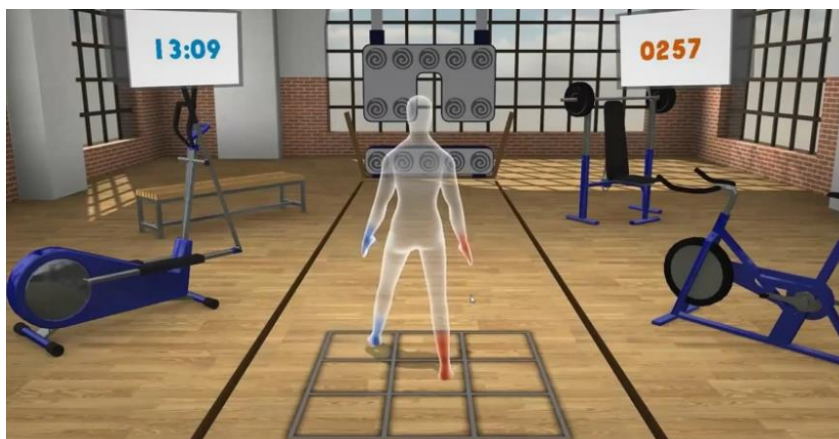


Figura 7 – *VirtualRehab* (Ho, 2014)

Uma equipa de investigadores refere o desenvolvimento de um sistema de realidade virtual personalizado, o *ReaKinG* (*Rehabilitation using Kinect-based Games*) (Figura 8), destinado a pessoas idosas, permitindo-lhes a realização de terapias de reabilitação física e cognitiva, em ambiente doméstico, utilizando uma interface de utilizador baseada em *Kinect*. O sistema pode ser facilmente configurado de modo a incluir exercícios orientados para melhorar a condição física dos pacientes ou, então, atividades para treinar, ao mesmo tempo, o corpo e a mente (Pedraza-Hueso, Martín-Calzón, Díaz-Pernas, & Martínez-Zarzuela, 2015).

No caso dos exercícios de fisioterapia, o utilizador estimula a mobilidade através de uma experiência

de imersão num cenário virtual interativo, mais precisamente numa praia, onde tem de mover um *avatar*, com o próprio corpo, efetuando os movimentos indicados por outro *avatar*. O sistema é capaz de detetar se o paciente está a executar corretamente os exercícios, disparando alertas, quando necessário. O terapeuta recebe informações completas sobre o desempenho do paciente durante os exercícios de reabilitação (Pedraza-Hueso et al., 2015).

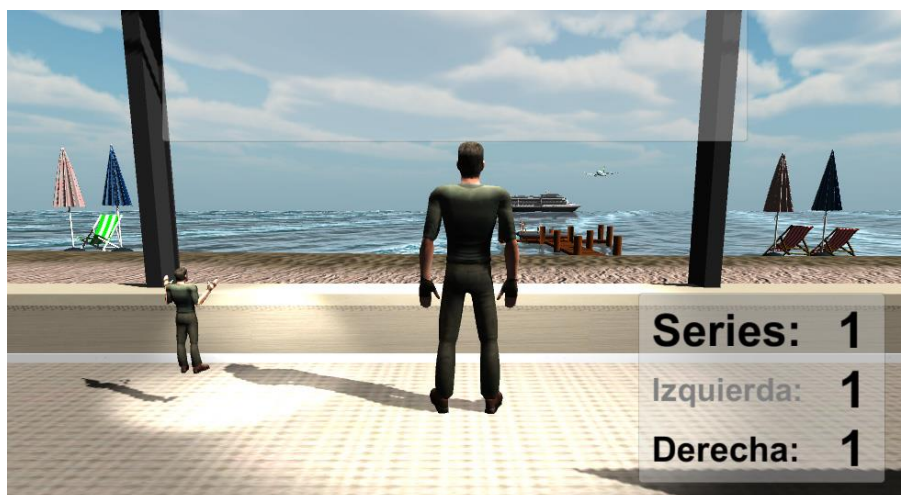


Figura 8– Exercício de fisioterapia (Pedraza-Hueso et al., 2015)

A equipa de investigação de Cargnin, d’Ornellas e Prado (2015) desenvolveu um jogo sério para reabilitação do membro superior afetado em consequência de um AVC. O objetivo do jogo é colher o maior número possível de frutos duma árvore e colocá-los em cestos, num determinado período de tempo. O fisioterapeuta pode ajustar o nível de dificuldade às limitações do paciente. O exercício da fisioterapia tradicional executado com este jogo é a abdução do ombro, escolhido após reuniões dos autores com fisioterapeutas, que o consideraram como o problema mais comum a várias doenças neurológicas.

Fernandez-Cervantes, Stroulia, Oliva, Gonzalez e Castillo (2015) desenvolveram um sistema integrado de reabilitação e fisioterapia, baseado em *Kinect*, que inclui três jogos sérios, para diferentes exercícios fisioterapêuticos: *Fishing*, para a reabilitação do cotovelo; *Spaceship Orbité*, destinado à terapia do ombro; *Way of the Penguin*, direcionado para o tratamento do joelho.

O jogo *Fishing* (Figura 9) consiste numa sessão de pesca, num lago tranquilo. Para conseguir pescar, o jogador tem de mover os cotovelos de uma forma muito semelhante à do exercício que lhe corresponde na fisioterapia convencional. Os movimentos acabam por ser tão espontâneos, que se tornam numa forma natural de interagir com o jogo, levando o paciente a abstrair-se do tratamento

(Fernandez-Cervantes et al., 2015).



Figura 9 – Jogo *Fishing* (Fernandez-Cervantes et al., 2015)

No jogo *Spaceship Orbité* (Figura 10), o jogador move o braço, tendo em atenção a posição deste em relação ao seu ombro. Com os movimentos efetuados, ele controla a velocidade duma nave espacial, mantendo-a afastada da lua (Fernandez-Cervantes et al., 2015).

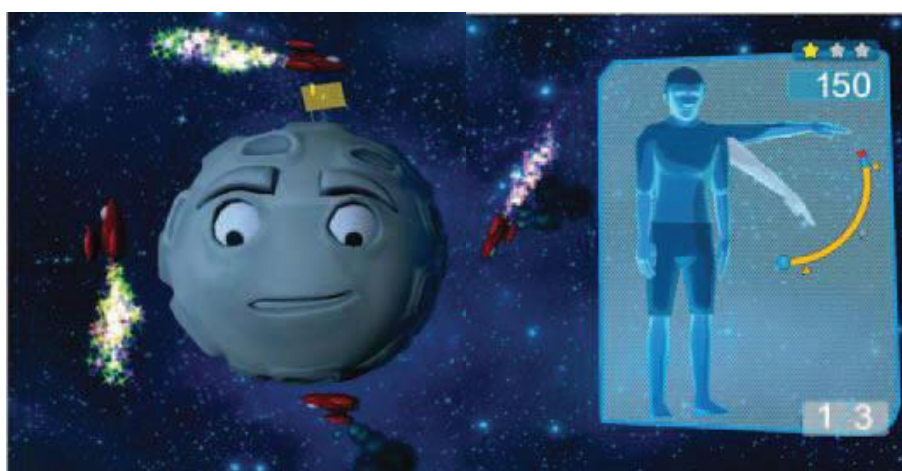


Figura 10 – Jogo *Spaceship Orbité* (Fernandez-Cervantes et al., 2015)

Com o jogo *Way of the Penguin*, o paciente sente-se impelido a ajudar um pinguim a completar uma viagem ao longo de um caminho congelado sobre o oceano. Quando os movimentos do joelho são executados de acordo com as instruções relativas a este exercício, o pinguim navega suavemente sobre a superfície; caso contrário, ele cai e escorrega no caminho (Fernandez-Cervantes et al., 2015).

Na sua dissertação de mestrado, Paul Dezentje (2016) desenvolveu um jogo sério, em ambiente de

Realidade Aumentada, que utiliza sensores para monitorizar os movimentos. Projetado para a avaliação de distúrbios motores da extremidade superior, mas ajustando-se, também, à reabilitação dos movimentos da mão, este jogo simula um separador de embalagens, numa estação de correios, com diferentes caixas (Figura 11), em cada uma das quais serão postas as embalagens direcionadas para um determinado país, cujo nome está escrito na parte superior da caixa respetiva.

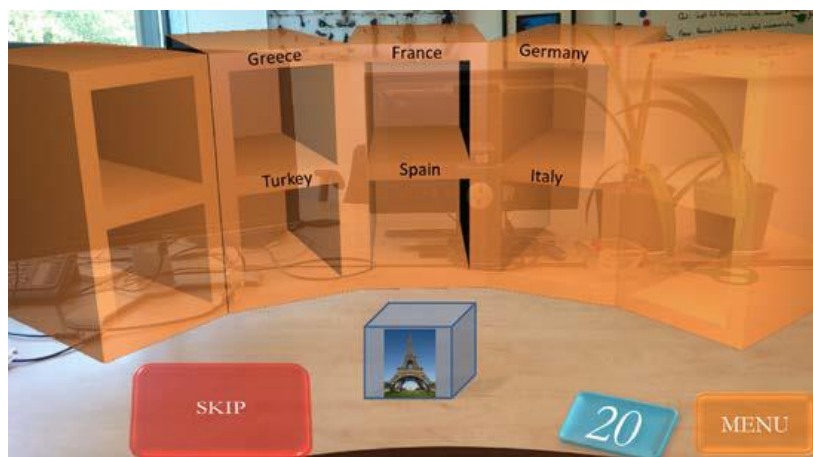


Figura 11 – Jogo do um separador de embalagens, numa estação de correios (Dezentje, 2016)

O separador está disposto num semicírculo à volta do jogador, permitindo a medição do espaço de trabalho acessível ao paciente. Quando uma embalagem aparece à sua frente, em lugar do endereço ela tem uma imagem do país para onde seguirá. Ele terá de a alcançar, pegar nela, identificar o destino e, em seguida, colocá-la na caixa correta. O jogo permite exercitar os movimentos de apontar, de alcançar, de agarrar, o tremor, a amplitude de movimento nas articulações individuais e o espaço de trabalho acessível. O fisioterapeuta pode ajustar o jogo às limitações de cada paciente (Dezentje, 2016).

O sistema portátil *YouGrabber* destina-se à exercitação dos membros superiores. O paciente usa uma luva de neopreno, à qual é ligada, por velcro, uma “caixa” que contém sensores, os quais, juntamente com uma câmara, permitem registar a posição da mão no espaço. A mesma “caixa” contém também magnetómetros e acelerómetros, que registam mudanças nos movimentos, enquanto outros sensores, ligados aos dedos através de anéis de silicone, detetam mudanças na flexão/extensão do polegar, do indicador e do dedo médio. As luvas de neopreno estão disponíveis em quatro tamanhos, e os anéis de silicone em seis, o que torna o sistema aplicável a crianças e adolescentes com idades entre cinco e dezoito anos (Gerber, Kunz, & van Hedel, 2016).

Com este sistema, podem ser treinados movimentos articulares individuais, mas também uma combinação de movimentos, tais como flexão/extensão do cotovelo, do punho ou ombro e movimentos seletivos dos dedos. Ao interagir com o jogo, o paciente recebe *feedback* tátil. Neste sistema estão disponíveis oito jogos, prestando-se, todos eles, à exercitação dos membros superiores, embora um deles tenha sido desenvolvido para os inferiores (Gerber et al., 2016).

O *software* consiste numa *app* chamada *training planner*, para tornar o sistema mais fácil de usar, e possibilitando, aos fisioterapeutas, a organização dos jogos em vários níveis de dificuldade e a escolha entre diferentes modelos de *feedback* (Gerber et al., 2016).

Outros jogos existem para cumprirem o mesmo objetivo dos que foram apresentados. Contudo, os aqui referidos são, na opinião do autor, suficientes para se perceber o elevado interesse que os investigadores colocam no desenvolvimento de jogos sérios para a fisioterapia e a reabilitação de pacientes que se veem confrontados com problemas de mobilidade.

2.3. Observação

Referiram-se vários jogos sérios direcionados para a fisioterapia e reabilitação, bem-sucedidos aquando da sua experimentação. A maioria destes jogos baseia-se em movimentos do quotidiano de qualquer pessoa, sendo poucos os que obrigam à realização de movimentos correspondentes aos exercícios da fisioterapia tradicional, e também poucos os que se destinam à reabilitação dos membros inferiores. Por outro lado, de uma forma geral, nenhum deles se destina a vítimas de mais do que uma doença neurológica. Procurou-se, portanto, superar estas lacunas, com o desenvolvimento de um jogo mais abrangente, quer em termos de exercícios da fisioterapia tradicional adaptados a situações de jogo eletrónico, envolvendo tanto os membros superiores como inferiores, quer em termos de público-alvo, incluindo pacientes com qualquer doença neurológica. Possui também um base de dados para gestão e centralidade da informação.

2.4. A Reter deste Capítulo

Desde a sua origem, o jogo sempre teve outras finalidades, para além do entretenimento, fossem de carácter religioso, educativo, desportivo, militar. Com o aparecimento do computador, começaram a surgir os primeiros jogos eletrónicos, mas barreiras tecnológicas tais como o tamanho e o custo do *hardware* não permitiam que estivessem disponíveis para o público em geral, desviando do divertimento o seu objetivo, pelo que eles foram utilizados, por exemplo, para demonstrarem a

interação homem-máquina, ou para testarem a capacidade de processamento de novas tecnologias desenvolvidas.

Surgiram os arcades e, com eles, espaços públicos de jogo. Posteriormente as consolas domésticas vieram vencer as limitações impostas pelo *hardware* existente até essa altura, e deslocaram os espaços de jogo para o domínio privado. A indústria dos jogos eletrónicos foi evoluindo, focada no entretenimento. Embora muitos deles tivessem sido concebidos para outros fins, a denominação “jogos sérios” só passou a ser utilizada para a nova vaga de jogos desenvolvidos a partir de 2002.

Capítulo 3

PROCESSAMENTO DE IMAGEM DIGITAL

Este capítulo descreve as técnicas de processamento de imagem digital consideradas na execução deste estudo, permitindo dar o suporte teórico à sua compreensão. Entre outras, são descritas as diferentes etapas de pré-processamento, segmentação, extração de características e reconhecimento de padrões das imagens adquiridas.

3.1. Aquisição e Discretização de Imagem

O advento da moderna tecnologia digital tornou possível a manipulação de sinais multidimensionais, através de vários sistemas. É nesta manipulação que se enquadra o processamento de imagem, uma tarefa complexa que inclui um conjunto de outras tarefas relacionadas entre si (Young, Gerbrands, & van Vliet, 1998).

As imagens são suportes físicos de determinada informação. Para simplificar a extração de informações de uma imagem, é essencial submetê-la a transformações repetidas, que a tornem mais fácil de interpretar pelo homem ou pela máquina, e lhes proporcionem maior eficiência de armazenamento e transmissão, o que constitui o objetivo do processamento de imagem. Antes do processamento, é necessário capturar uma imagem real, que, geralmente, corresponde à iluminação que é refletida na superfície do objeto em causa. Esta captura é feita sob a forma de sinal analógico, utilizando uma câmara ou um sensor, que envia a informação obtida para um conversor analógico-digital, de modo a convertê-lo em informação digital (Gonzalez & Woods, 2008).

Todas as técnicas imagiológicas utilizadas pela câmara convencional ou sensor 2D que intervêm na captura de uma imagem envolvem o mapeamento de uma cena tridimensional no plano bidimensional, ou seja, a redução de dimensionalidade. Uma vez mapeada, a imagem analógica é uma função que a cada par de números reais (x, y) , indicadores da posição de cada ponto da imagem no plano, faz corresponder um outro número real, representante da intensidade luminosa, proporcional ao brilho ou nível de cinza, nesse ponto, supondo que a imagem é monocromática. Trata-se, pois, de uma função contínua de $\mathbb{R} \times \mathbb{R}$ em \mathbb{R} (Gonzalez & Woods, 2008).

Mas a máquina só trabalha em linguagem binária, sendo, por isso, necessário transformar a função contínua numa função discreta, para que possa ser compreendida e tratada pela linguagem da máquina. Esta discretização tem de ser realizada quer ao nível das coordenadas espaciais x e y , o que se denomina amostragem espacial, quer ao nível da amplitude do sinal da intensidade luminosa, envolvendo a quantização dos níveis de cinza (Elali, 2012).

Com a amostragem espacial, a imagem fica representada por um conjunto de amostras, cada uma das quais é designada por elemento de imagem ou *pixel*, com a quantização, obtêm-se níveis de cinza discretos. A esta discretização da imagem segue-se a codificação, que consiste em atribuir um código binário a cada nível de quantização. Concluído o processo constituído pelas etapas referidas, obtém-se a imagem digital, organizada na forma de uma matriz de *pixels*, cada um dos quais é um

número binário que representa o valor do nível de cinza na respetiva posição, estando preparada para ser tratada em computador (Gonzalez & Woods, 2008).

Passando ao caso de uma imagem colorida no sistema RGB (*Red Green Blue*), pode considerar-se que ela é a composição de três imagens monocromáticas, nas componentes vermelho, verde e azul presentes na imagem original, sendo cada *pixel* um vetor cujas componentes representam as intensidades luminosas destas cores, nesse *pixel*. Tudo o que acabou de ser referido relativamente à digitalização da imagem monocromática aplica-se a cada um dos planos monocromáticos que compõem a imagem colorida, procedendo-se, posteriormente, à composição dos três planos para se obter a sua imagem digital (Gonzalez & Woods, 2008; Solomon & Breckon, 2011).

Com a aquisição da imagem, surgem distorções e imperfeições, que, entre outras origens, podem dever-se às características físicas do sistema e às condições deficientes de iluminação. O sistema de lentes óticas da câmara digital que adquire a informação visual é uma fonte comum de degradação, originando imagens desfocadas. Outra fonte é a degradação atmosférica: uma imagem capturada num ambiente nebuloso pode resultar numa imagem turva. Também do movimento relativo entre o objeto e a câmara pode resultar uma imagem turva e ruidosa. Torna-se necessário corrigir tais problemas, para evitar erros nas fases seguintes, o que constitui o objetivo do pré-processamento (Acharya & Ray, 2005).

3.2. Pré-Processamento

Como se acabou de referir, ao ser digitalizada, qualquer imagem sofre sempre várias degradações, devendo, portanto, ser adotadas práticas que permitam revertê-las, de forma a otimizar a qualidade da mesma. A etapa denominada pré-processamento compreende exatamente esta otimização, através de técnicas de restauração e técnicas de realce. As técnicas de restauração enfatizam a modelagem das degradações, exigindo um conhecimento prévio do processo que lhe dá origem. Como é difícil conhecer antecipadamente este processo, bem como a complexidade computacional para modelar as degradações, este tipo de técnicas é pouco utilizado, pelo que não se julga de interesse a sua referência no presente relatório. Assim sendo, o pré-processamento que se apresenta consistirá basicamente na aplicação de técnicas de realce, para se obter uma imagem com bom contraste, com contornos nítidos, com pouco ruído e rica em detalhes (Facon, 2006; Schettini & Corchs, 2010).

Há uma grande variedade de técnicas de realce, cuja utilização tem em conta a aplicação a que se

destina. No âmbito deste projeto apenas serão apresentadas as que foram testadas ou utilizadas no desenvolvimento preliminar.

3.2.1. O CONTRASTE E O BRILHO – EQUALIZAÇÃO DO HISTOGRAMA

Sendo L o número de níveis de cinza (ou brilho) presentes numa imagem $f(x, y)$, com M linhas e N colunas, o histograma dessa imagem é uma representação gráfica da função discreta de domínio $[0, L - 1]$, que a cada nível de cinza (z_k) faz corresponder o número de vezes (n_k) que ele se repete na imagem (número de *pixels* associado a esse nível). Pode proceder-se à normalização do histograma, utilizando, em lugar do número de *pixels* associado a cada nível, a percentagem desse número relativamente ao total de *pixels* da imagem ($n = M \times N$). O histograma normalizado $H_f(z_k)$ traduz, então, a distribuição estatística dos níveis de cinza da imagem, dando uma estimativa da probabilidade $P(z_k)$ de ocorrência de cada um desses níveis, podendo escrever-se a equação (1) (Acharya & Ray, 2005):

$$H_f(z_k) = P(z_k) = n_k/n \quad (1)$$

O histograma apresenta uma descrição global da imagem. Uma imagem cujo histograma revela a maioria dos *pixels* concentrados numa estreita faixa que compreende os valores próximos do limite inferior dos níveis de cinza é predominantemente escura, com baixo contraste; se essa concentração se faz também numa faixa estreita, mas envolvendo os valores dos níveis de cinza mais altos, o histograma corresponde a uma imagem clara, mas igualmente com baixo contraste; se os *pixels* se concentram, mais uma vez, numa faixa estreita, mas agora em torno dos valores intermédios, o histograma caracteriza uma imagem de brilho médio, continuando a ser baixo o contraste; caso os *pixels* mostrem uma concentração na região dos valores baixos e outra na dos valores altos, a imagem correspondente a um tal histograma (bimodal) apresenta alto contraste entre as duas concentrações; quando o histograma tem os *pixels* distribuídos por toda a escala de cinza, a imagem que ele representa possui um bom contraste (Acharya & Ray, 2005).

Pelo que acabou de ser referido, o contraste é uma medida que está relacionada com a distribuição dos níveis de cinza de uma imagem. O contraste seria ótimo se todos os níveis de cinza fossem igualmente utilizados. Como isso não é possível, por se tratar de dados digitais discretos, consegue-se uma aproximação através da manipulação do histograma. Das várias técnicas existentes para manipular um histograma, abordar-se-á equalização, que reduz o contraste em áreas muito claras ou muito escuras da imagem e expande os níveis de cinza ao longo de toda a escala (Soares, 2013).

Para se proceder à equalização de um histograma, utiliza-se uma função auxiliar, denominada função de transformação, que permitirá a redistribuição dos valores dos níveis de cinza de uma imagem, de forma a obter um histograma o mais uniforme possível. Embora possam ser utilizadas diferentes funções para esse fim, a mais usual é a função de distribuição acumulada (*CDF – Cumulative Distribution Function*) da distribuição de probabilidades original. Deste modo, a obtenção de cada nível de cinza de ordem k ($k \in [0, L - 1]$) da imagem transformada discreta, exige o cálculo do somatório na equação (2) (Marques Filho & Vieira Neto, 1999):

$$\sum_{i=0}^k (n_i/n) = \sum_{i=0}^k P(z_i) \quad (2)$$

As probabilidades acumuladas assim calculadas para todos os níveis de cinza não deixam de ser probabilidades, pelo que os seus valores se situam no intervalo $[0, 1]$. São, por isso, números fracionários, que precisam de ser convertidos em números inteiros, uma vez que os níveis de cinza são sempre inteiros. A forma habitual para o concretizar consiste em multiplicar cada um deles por $L - 1$, e proceder, para cada produto obtido, ao arredondamento (*rnd*) para o inteiro mais próximo. Por conseguinte, a função de transformação discreta $T(z_k)$ que permite obter cada novo nível de cinza s_k da imagem transformada é a da equação (3) (Kadhum, 2012; Wang & Lai, 2009):

$$s_k = T(z_k) = \text{rnd} \left[(L - 1) \times \left(\sum_{i=0}^k (n_i/n) \right) \right] \quad (3)$$

Esta expressão pode também ser representada pela equação (4):

$$s_k = T(z_k) = \text{rnd} \left[(L - 1) \times \left(\sum_{i=0}^k P(z_i) \right) \right] \quad (4)$$

Se, após a aplicação desta transformação, o novo nível de cinza tem a mesma ordem do que lhe deu origem (s_k é o transformado de z_k), mantém-se a contagem de z_k ; se z_i se transformou em s_j , a anterior contagem de z_i deve transitar para o nível z_j ; se a nova amostragem não incluir um determinado nível s_t , deverá ser 0 (zero) a contagem para o nível z_t , significando que a imagem equalizada não possui *pixels* com esse nível de cinza; se um nível de cinza s_r se repete, correspondendo essa repetição aos níveis z_m e z_p , deverão ser somadas as contagens destes dois níveis, sendo o total atribuído ao nível z_r (Wang & Lai, 2009).

Quando uma imagem apresenta baixo contraste, a equalização do histograma é o método mais

vulgarmente utilizado, devido à sua simplicidade e ao melhor desempenho, quando comparado com outros, sendo um dos mais eficientes para a melhorar (Figura 12). Ele mapeia os novos níveis de cinza, sem qualquer perda de detalhes da imagem. A imagem original preserva as características do histograma (Kadhum, 2012).

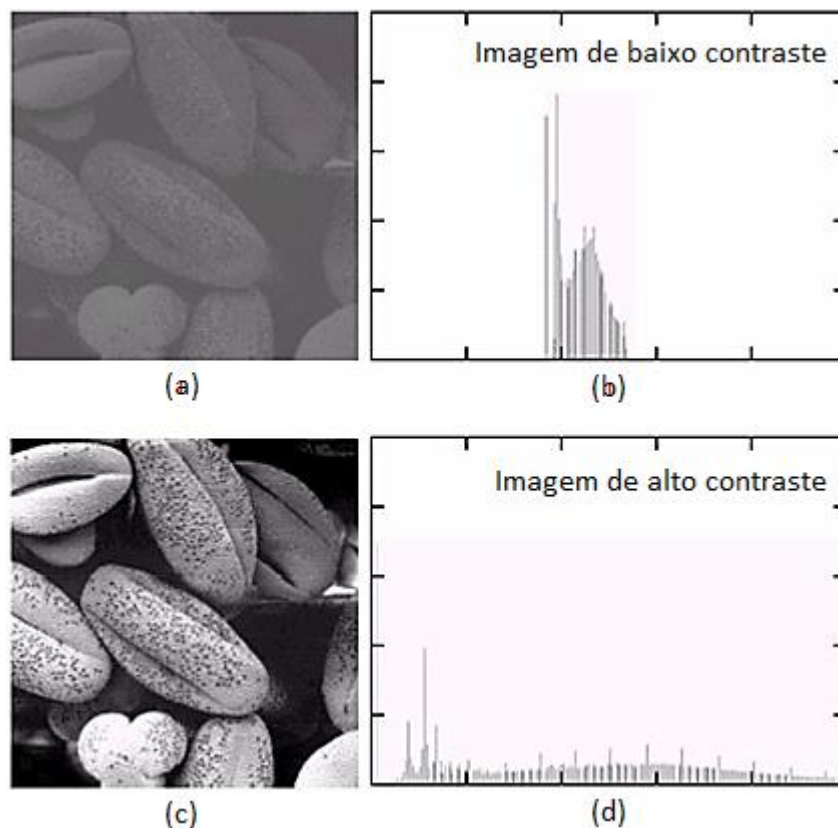


Figura 12 – Equalização do histograma: (a) Imagem original; (b) Histograma da imagem original; (c) Imagem melhorada por equalização do histograma; (d) Histograma equalizado. Adaptada de (Gonzalez & Woods, 2008)

3.2.2. CONVOLUÇÃO DE DUAS FUNÇÕES

As técnicas de realce de imagem distribuem-se por dois domínios: o domínio espacial e o domínio da frequência. Com estas técnicas, pretende-se que a imagem se torne visualmente mais agradável ou mais própria para o que se pretende (Solomon & Breckon, 2011).

A técnica básica de algoritmos de processamento digital de imagem é a convolução de duas funções. No caso da filtragem espacial, uma das funções é a que define a imagem digital a ser filtrada (I), com M linhas e N colunas. A outra é uma máscara (janela, filtro ou *kernel*), isto é, uma matriz (G), normalmente quadrada, com dimensão ímpar (k), inferior a qualquer uma das dimensões da imagem considerada, cujos valores são fatores de ponderação (pesos), que serão aplicados sobre

os *pixels* da imagem que vai ser tratada. Nestas condições, a convolução é uma operação matemática que substitui o valor de cada *pixel* P , de coordenadas (x, y) , da imagem de entrada, pelo número que se obtém multiplicando o nível de cinza de cada *pixel* da imagem, na vizinhança $k \times k$ de P , pelo correspondente peso armazenado na máscara, e somando os produtos obtidos. Deste modo, sendo $a = (k - 1)/2$, a convolução das funções I e G , que utiliza a notação simbólica $I * G$, é a função H , que, para cada *pixel*, substitui o valor do seu nível de cinza pelo valor calculado pela equação (5) (Bradski & Kaehler, 2008):

$$H(x, y) = I(x, y) * G(i, j) = \sum_{i=0}^{k-1} \sum_{j=0}^{k-1} I(x + i - a, y + j - a) \times G(i, j) \quad (5)$$

O *kernel* deve deslizar sobre a imagem, de modo que o seu elemento central percorra todos os seus *pixels*. No entanto, quando o centro do filtro se situa na borda da imagem (ou perto dela, dependendo da dimensão da máscara), parte do *kernel* não se sobrepõe a esta, isto é, uma ou mais linhas ou colunas ficarão localizadas fora da imagem. Para os *pixels* nestas condições, pode utilizar-se um dos seguintes procedimentos: deixam-se inalterados os *pixels* que estão nestas regiões; filtram-se apenas os *pixels* P , relativamente aos quais é possível sobrepor completamente o *kernel* a uma vizinhança $k \times k$ de P , podendo recortar-se a imagem (menor do que a original) constituída pelos *pixels* filtrados, eliminando todos os que não foram alvo da convolução; faz-se uma cópia da imagem ligeiramente maior, acrescentando $(k - 1)/2$ linhas ou colunas em todos os lados, fora do plano da imagem. Neste último caso, uma forma de completar estas novas linhas e colunas consiste em replicar as linhas ou as colunas no limite da imagem original para fora dela, isto é, para a borda acrescentada, ou, então, faz-se o preenchimento de todos os *pixels* com uma constante em nível de cinza. Esta constante pode ser zero, o que equivale a filtrar todos os *pixels* somente com a secção da máscara que está completamente contida na imagem. O preenchimento é removido, no final do processo (Solomon & Breckon, 2011; Bradski & Kaehler, 2008).

Com alguns destes procedimentos é possível o aparecimento de resultados indesejados nas bordas da imagem. Por isso, dos processos indicados, o que conduz a uma filtragem mais perfeita será o que consiste em extrair uma imagem de tamanho mais reduzido, sendo removidos os *pixels* de borda que não tenham sido adequadamente filtrados, ou seja, aqueles em que a máscara não pode ser totalmente sobreposta (Solomon & Breckon, 2011).

3.2.3. SUAVIZAÇÃO DA IMAGEM – FILTROS PASSA-BAIXO NO DOMÍNIO ESPACIAL

A remoção de ruído e a nitidez das bordas numa imagem são exemplos de operações de melhoramento que podem ser conseguidas através da filtragem no domínio espacial, que se realiza diretamente sobre os *pixels* da própria imagem (Solomon & Breckon, 2011).

Os filtros utilizados no domínio espacial podem classificar-se em filtros lineares e não lineares. Um filtro é linear quando a resposta da filtragem, em cada *pixel*, é obtida pela combinação linear dos valores dos *pixels* na sua vizinhança, sendo os coeficientes desta combinação linear determinados pela máscara, como sucede na convolução. Qualquer outro tipo de filtro é não linear (Solomon & Breckon, 2011). Os filtros lineares possibilitam a suavização, o realce de detalhes da imagem e a minimização dos efeitos do ruído, sem que seja alterado o nível médio de cinza da imagem, devendo, para isso, o *kernel* ser normalizado, isto é, a soma dos seus coeficientes deve ser igual a 1 (um). Com os filtros não lineares, não há garantia da conservação do nível médio de cinza da imagem (Swett, Giger, & Doi, 1993).

Os detalhes e as variações dos níveis de cinza de uma imagem estão associados às frequências espaciais das suas componentes, frequências estas que dependem de uma vizinhança de um *pixel* dessa imagem, definida por uma janela. Se as variações dos valores dentro dessa janela são significativas, elas estão associadas a altas frequências espaciais, que permitem uma visualização de detalhes finos. Pelo contrário, variações mais suaves surgem como componentes de baixa frequência, correspondendo a uma imagem menos detalhada. A filtragem de frequências espaciais possibilita remover, atenuar ou destacar componentes espaciais da imagem. Adotando como critério as frequências que rejeitam ou que deixam passar, os filtros classificam-se em passa-baixo, passa-alto e passa-banda (Short Sr. & Robinson, 1999). Os filtros passa-alto são utilizados para realçar bordas e, como tal, serão apresentados na etapa da segmentação. Os filtros passa-banda, que deixam passar as frequências dentro de um determinado intervalo, atenuando as que estão fora dele, enfatizam componentes periódicas específicas, sendo utilizados menos frequentemente em processamento de imagem (Haidekker, 2011).

Filtros passa-baixo são filtros de suavização, que suprimem o conteúdo das altas frequências espaciais de uma imagem, específicas de contornos finos e enfatizam as baixas frequências. São úteis na remoção de ruído visual e na atenuação dos contornos, que normalmente aparecem em pontos brilhantes de uma imagem ou em transições abruptas, correspondendo a picos de altas frequências, que são suavizados por este tipo de filtros. As imagens de saída ficam desprovidas das

componentes de frequência espaciais elevadas que podem estar presentes nelas, pelo que resultam em versões mais esbatidas das que lhes deram origem (Acharya & Ray, 2005).

Um exemplo de filtro passa-baixo é o filtro de média, um filtro linear, que substitui o valor de um *pixel* P pela média dos valores de todos os *pixels* que se encontram na vizinhança $k \times k$ de P , determinada pelo *kernel*. Se o valor desse *pixel* for muito diferente dos seus vizinhos, a diferença será atenuada com a utilização deste filtro (Solomon & Breckon, 2011). O filtro da média $k \times k$ é o que se encontra na Figura 13:

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \frac{1}{k^2} & \frac{1}{k^2} & \dots & \frac{1}{k^2} \\ \hline \frac{1}{k^2} & \frac{1}{k^2} & \dots & \frac{1}{k^2} \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline \frac{1}{k^2} & \frac{1}{k^2} & \dots & \frac{1}{k^2} \\ \hline \end{array} = \frac{1}{k^2} \times \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 1 & 1 & \dots & 1 \\ \hline 1 & 1 & \dots & 1 \\ \hline \dots & \dots & \dots & \dots \\ \hline 1 & 1 & \dots & 1 \\ \hline \end{array}$$

Figura 13 – Filtro da média $k \times k$

Este filtro é utilizado, com razoável eficácia, para remoção do ruído gaussiano (ruído causado por flutuações aleatórias no sinal, com distribuição normal (McAndrew, 2016), e como passo preliminar de suavização da imagem, para tornar mais eficaz qualquer posterior operação de processamento (Figura 14). Há, no entanto, uma consequência indesejável: a perda dos detalhes de altas frequências, por exemplo, os contornos, o que interfere na nitidez da imagem (Solomon & Breckon, 2011).

Outro filtro que pode ser utilizado como passa-baixo é o da mediana, um filtro não linear, que substitui o valor de cada *pixel* P , da imagem, pela mediana dos valores dos *pixels* na vizinhança de P definida pela máscara. Como a mediana é um dos valores presentes na vizinhança, é menos sensível a *outliers* (valores com grande afastamento dos restantes), prevenindo o desfoque dos contornos e a perda de detalhes da imagem (Figura 14). Cria-se, assim, apenas uma ligeira degradação na qualidade da imagem, o que se traduz numa vantagem em relação ao filtro da média (Solomon & Breckon, 2011).

Sendo x e y as coordenadas espaciais de um pixel da imagem, a filtragem gaussiana discreta utiliza um *kernel* que se obtém da função gaussiana contínua 2D, com desvio padrão igual a σ , definida pela equação (6) (Solomon & Breckon, 2011):

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$



Figura 14 – Filtros da média e da mediana com máscaras 3×3 : (a) Imagem original; (b) Imagem com ruído; (c) Imagem filtrada com o filtro da média; (d) Imagem filtrada com filtro da mediana. Adaptada de (Queiroz & Gomes, 2001)

Para se obter o *kernel* pretendido, utilizam-se valores desta função, especificando dois parâmetros: a dimensão da máscara e o valor do desvio padrão σ . A aplicação do filtro gaussiano produz uma suavização da imagem, cujo grau é controlado pela escolha do desvio padrão e não pela dimensão do *kernel*, como acontece com o filtro de média. Uma função gaussiana com um grande valor de σ é um exemplo de um filtro passa-baixo (Solomon & Breckon, 2011).

3.2.4. SUAVIZAÇÃO DA IMAGEM – FILTROS PASSA-BAIXO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

A filtragem no domínio da frequência baseia-se na transformada de Fourier. Esta opera sobre a função que define a imagem no domínio espacial, para originar uma forma equivalente, num espaço abstrato denominado domínio da frequência, possibilitando soluções fáceis para problemas que, de outro modo, seriam difíceis de resolver (Solomon & Breckon, 2011).

A análise de Fourier de uma imagem (ou de qualquer outro sinal) permite defini-la como uma combinação ponderada de senos e cossenos, ou seja, de funções harmónicas de frequências diferentes, cujos pesos constituem o espectro de Fourier. Este espectro é uma representação alternativa da imagem, que permite que ela seja reproduzida com precisão. O processamento de imagem no domínio da frequência preocupa-se com o conteúdo das componentes harmónicas e

com a forma como elas são preservadas, impulsionadas ou suprimidas com o tratamento a que são sujeitas (Solomon & Breckon, 2011).

Importa, por conseguinte, passar a imagem do domínio do espaço, para o domínio da frequência, o que é conseguido com a transformada discreta de Fourier. Antes de se apresentar esta transformada, convém recordar que a soma ponderada de senos e cossenos se pode escrever como soma ponderada de exponenciais complexas, a partir da fórmula de Euler, equação (7) (Young et al., 1998):

$$e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta \quad (7)$$

Com base nesta igualdade, sendo x e y (números inteiros) as coordenadas espaciais de um ponto genérico de uma imagem de dimensão $M \times N$, $f(x, y)$ a função que define essa imagem, u e v (também inteiros) as variáveis de frequência horizontal e vertical, respetivamente, e i a unidade imaginária, então a transformada discreta de Fourier bidimensional $F(u, v)$ representa-se na equação (8) (Acharya & Ray, 2005):

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-2\pi i(ux/M + vy/N)} \quad (8)$$

Uma vez obtida a transformação, realizam-se, nessa imagem, as operações de filtragem necessárias para se atingir o objetivo pretendido. Finalmente, é necessário retornar ao domínio espacial, através da inversa da transformada discreta de Fourier bidimensional, equação (9) (Gonzalez & Woods, 2008; Solomon & Breckon, 2011):

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{2\pi i(ux/M + vy/N)} \quad (9)$$

Da expressão da transformada discreta de Fourier, observa-se que cada termo de $F(u, v)$ contém todos os valores de $f(x, y)$, modificados pelos termos exponenciais, o que, salvo raras exceções, torna difícil associar as componentes específicas de uma imagem com as suas transformadas. No entanto, intuitivamente consegue-se associar frequências na transformada de Fourier com padrões de variações de intensidade na imagem. A menor variação das componentes de frequência ($u = v = 0$) corresponde ao nível de cinza médio duma imagem; as baixas frequências são compatíveis com suaves variações dos níveis de cinza; as mais altas frequências traduzem-se em mudanças abruptas nos níveis de cinza da imagem, como acontece com as bordas e com o ruído (Gonzalez &

Woods, 2008).

Sendo $F(u, v)$ e $H(u, v)$ as transformadas discretas de Fourier das funções $f(x, y)$ e $h(x, y)$, uma importante propriedade é a apresentada, em linguagem simbólica, na equação (10) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$f(x, y) * h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v)H(u, v) \quad (10)$$

Mas também se verifica a equação (11):

$$f(x, y)h(x, y) \Leftrightarrow F(u, v) * H(u, v) \quad (11)$$

Esta expressão significa que a convolução de duas funções no domínio do espaço equivale ao produto das suas transformadas de Fourier, isto é, ao produto no domínio das frequências. Mas, de uma forma análoga, também a convolução no domínio das frequências equivale ao produto no domínio espacial. Estes dois resultados constituem o teorema da convolução, que traz vantagens importantes ao processamento de imagem. Por um lado, para filtros da mesma dimensão, a filtragem no domínio da frequência, além de ser frequentemente mais intuitiva, proporciona uma economia computacional, sobretudo para máscaras de maiores dimensões, pelo facto de a multiplicação de duas funções ser uma operação matematicamente mais simples que a convolução, uma vez que é efetuada calculando o produto das duas funções termo a termo. Por outro lado, dado um filtro no domínio do espaço, é possível obter o correspondente filtro no domínio da frequência aplicando àquele a transformada discreta de Fourier. Mas é também verdade o recíproco: partindo de um filtro no domínio da frequência, o correspondente filtro no domínio espacial é conseguido com a inversa da transformada discreta de Fourier. Além disto, algumas tarefas para melhorar a imagem, que seriam extremamente difíceis ou até impossíveis no domínio espacial, tornam-se quase triviais no domínio da frequência (Gonzalez & Woods, 2008).

Supondo-se que $h(x, y)$ é um operador linear, utilizando a terminologia de sistemas lineares, chama-se função de transferência do filtro à função $H(u, v)$ (Marques Filho & Vieira Neto, 1999).

Em suma, o processo de filtragem no domínio da frequência consiste em calcular a transformada de Fourier da imagem, utilizar uma função filtro para modificar essa transformada e, em seguida, aplicar ao resultado a inversa da transformada, para se obter a imagem de saída processada. As variações nos níveis de cinza de uma imagem representam as componentes de frequência presentes na imagem. Por exemplo, uma imagem uniformemente homogénea, com valor de cinza constante, tem frequência 0 (zero) (Gonzalez & Woods, 2008; Acharya & Ray, 2005).

No domínio da frequência, à semelhança do que acontece no domínio espacial, também se utilizam as duas categorias de filtros: filtros passa-baixo, que deixam passar baixas frequências e atenuam as altas, resultando numa imagem suavizada, com menos detalhes finos do que a original; e filtros passa-alto, que, fazendo o oposto dos anteriores, enfatizam a nitidez das bordas, preocupando-se com as transições bruscas nos níveis de cinza (Acharya & Ray, 2005; Hunt, 2010).

Para a suavização de uma imagem no domínio da frequência, têm de ser atenuadas as componentes de altas frequências na transformada da imagem, o que se consegue com um filtro passa-baixo. Estes filtros deixam passar frequências desde zero até um determinado valor, designado por frequência de corte (maior frequência que o filtro deixa passar). Existem essencialmente três tipos de filtros passa-baixo, o ideal, o gaussiano e o Butterworth (Hunt, 2010). Contudo, apenas se vão apresentar os dois primeiros, já que foram as técnicas testadas ou utilizadas no processo de desenvolvimento do *software* preliminar de monitorização.

O filtro passa-baixo ideal bidimensional é o mais simples dos filtros passa-baixo, sendo definido pela função de transferência expressa na equação (12) (Hunt, 2010):

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{se } D(u, v) \leq D_0 \\ 0 & \text{se } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (12)$$

Nesta expressão, $H(u, v)$ é o filtro passa-baixo ideal bidimensional, D_0 é a distância da frequência de corte à origem do plano das frequências, e $D(u, v)$ é a distância de (u, v) à referida origem, ou seja, $D(u, v) = \sqrt{u^2 + v^2}$. Tratando-se de uma imagem de dimensão $M \times N$, a origem da transformada de Fourier situa-se no ponto (u, v) , em que $u = M/2$ e $v = N/2$, que é o centro da área $M \times N$ ocupada pela transformada discreta de Fourier bidimensional, e que é chamada de retângulo de frequência (Gonzalez & Woods, 2008; Acharya & Ray, 2005). A forma como é definido o filtro passa-baixo ideal bidimensional significa que todas as frequências dentro do círculo centrado na origem e com raio D_0 passam sem qualquer alteração, ao passo que todas as frequências que estão fora desse círculo são completamente atenuadas. A suavização é tanto menos severa quanto maior for o raio do filtro. À medida que vai aumentando o raio, que é o mesmo que D_0 , vai sendo menor a suavização da imagem (Hunt, 2010).

Uma das consequências indesejadas da utilização do filtro passa-baixo ideal é o chamado efeito de *ringing*, que consiste no aparecimento de anéis (contornos falsos) nas bordas dos objetos da imagem, e que é causado pela descontinuidade imposta pela função de transferência do filtro,

correspondente a uma transição abrupta entre a banda de passagem e a banda de rejeição. Este efeito é praticamente inexistente quando se aplicam outros filtros passa-baixo, como o filtro gaussiano (Gonzalez & Woods, 2008).

O facto de se chamar filtro ideal não significa que este seja o filtro ótimo ou o mais desejável para a filtragem passa-baixo; a designação é-lhe atribuída por ter uma frequência de corte exata, acima da qual todos os termos são precisamente iguais a 0 (zero), sendo os demais iguais a 1 (um) (Hunt, 2010).

A função de transferência do filtro gaussiano passa-baixo bidimensional é definida pela equação (13) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/(2\sigma^2)} \quad (13)$$

Sabendo que, na prática, $\sigma = D_0$, a equação (14) do filtro gaussiano é (Reddy & Prasad, 2010):

$$H(u, v) = e^{-D^2(u,v)/(2D_0^2)} \quad (14)$$

Este filtro toma, na origem, o valor máximo igual a 1 (um); e quando $D(u, v) = D_0$, o filtro é aproximadamente 0,607 do seu valor máximo (Gonzalez & Woods, 2008).

Se se pretender uma imagem em que não é aceitável qualquer tipo de artefactos, como no caso da imagiologia médica, a escolha deve recair no filtro passa-baixo gaussiano, que tem a vantagem de garantir a não existência de efeito de *ringing* (Gonzalez & Woods, 2008).

3.3. Segmentação

Os recursos utilizados na secção anterior revelam-se de grande importância, na medida em que a sua utilização é relevante para otimizar a imagem, de forma a prepará-la para a etapa seguinte do processamento de imagem – a segmentação.

Antes de mais, é conveniente distinguir entre *pixels* de interesse, que se encontram no primeiro plano da imagem, formando os objetos presentes nela, e os restantes *pixels*, cujo conjunto constitui o fundo da mesma. Os métodos utilizados para encontrar os objetos são referenciados como técnicas de segmentação (Young et al., 1998).

A segmentação é, portanto, um processo que consiste em subdividir a imagem nas regiões de interesse ou objetos que a compõem, isto é, em regiões homogêneas, mutuamente exclusivas, pelo que cada valor de intensidade pertence a uma única delas (Figura 15). É um dos passos mais

importantes no processamento de imagem, uma vez que é ela que determina o sucesso ou o fracasso deste, pois quaisquer erros nesta fase refletem-se nas etapas posteriores (Solomon & Breckon, 2011).

Muitos dos algoritmos de segmentação fundamentam-se numa de duas propriedades dos valores dos níveis de cinza: a similaridade e a descontinuidade. Relativamente à primeira propriedade, é feita a partição da imagem em regiões que se julgam semelhantes, de acordo com um conjunto de critérios predefinidos. Incluem-se nesta primeira abordagem os métodos de *thresholding* (limiarização) (Figura 15 (b)) e de *region growing* (crescimento de regiões). Mas se se tiver em conta a segunda propriedade, então são as mudanças bruscas nos níveis de cinza que determinam a partição, e, por conseguinte, o método é o da deteção de bordas (Figura 15 (c)) (Gonzalez & Woods, 2008).



Figura 15 – Segmentação de imagem: (a) Imagem original; (b) Imagem segmentada por *thresholding*; (c) Imagem segmentada por deteção de bordas. Adaptada de (Solomon & Breckon, 2011)

3.3.1. TÉCNICA DE LIMIAZIZAÇÃO (THRESHOLDING)

A técnica de *thresholding* ou binarização baseia-se na escolha de um parâmetro T , designado por *brightness threshold* (limiar de brilho), para, de seguida, se aplicar à imagem a função que se define conforme a equação (15) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) > T \\ 0 & \text{se } f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (15)$$

No caso da Figura 15, com objetos escuros em fundo brilhante, este procedimento significa que é atribuído o valor 1 (um) aos *pixels* cujos valores dos níveis de cinza são superiores ao limiar escolhido (fundo) e o valor 0 (zero) aos restantes (objetos), sendo o resultado uma imagem binária. Partindo

de uma imagem com objetos brilhantes num fundo escuro, o valor 1 (um) seria atribuído aos *pixels* que formam os objetos e o valor 0 (zero) aos do fundo. (Young et al., 1998).

Pode também ser utilizada uma outra versão da equação 15, que faz exatamente o contrário, e que é dada pela equação (16) (Young et al., 1998).

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{se } f(x, y) \leq T \\ 0 & \text{se } f(x, y) > T \end{cases} \quad (16)$$

Porém, põe-se a questão sobre como deve ser escolhido o parâmetro T . Para fazer tal seleção, não existe nenhum procedimento que garanta a sua aplicação em todas as imagens, havendo, no entanto, várias alternativas, uma das quais, que se aplica em alguns casos mais simples, consiste em selecionar manualmente o valor apropriado do limiar, por tentativa e erro, até produzir um resultado razoável (Young et al., 1998; Solomon & Breckon, 2011).

Mas o processamento de muitas imagens exige procedimentos automatizados, pelo que também terá de ser automática a escolha do limiar. As alternativas para este tipo de seleção apoiam-se no histograma da imagem (Solomon & Breckon, 2011).

Numa situação em que a técnica de *thresholding* pode ser bem-sucedida na segmentação de um objeto a partir do fundo, o histograma apresenta tipicamente dois picos, um correspondente aos *pixels* dos objetos e o outro aos do plano do fundo, devendo o limiar ser escolhido de modo a que os dois picos fiquem claramente separados um do outro. Uma abordagem simples para o conseguir considera um algoritmo iterativo. Em primeiro lugar, este algoritmo começa por selecionar uma estimativa para o limiar global, T (a intensidade média da imagem é uma boa escolha para este valor inicial); no segundo passo, faz a segmentação da imagem, usando T , o que origina duas classes: C_0 , que inclui os *pixels* com níveis de cinza compreendidos entre 1 (um) e T , e C_1 , constituída pelos *pixels* cujos valores de intensidade variam de $T + 1$ até L ; passando ao terceiro passo, o algoritmo calcula as médias m_0 e m_1 dos valores das intensidades dos *pixels* em cada uma das classes C_0 e C_1 , respetivamente; prosseguindo para o quarto passo, ele calcula a média de m_0 e m_1 , que passa a ser o novo valor para o limiar T ; a partir daqui, repete os passos do segundo ao quarto, até que a diferença entre os valores de T , em iterações sucessivas, seja inferior a um parâmetro preestabelecido, que é utilizado para controlar o número de iterações (Gonzalez & Woods, 2008).

Outra alternativa utilizada em situações como a referida no parágrafo anterior consiste em calcular

o histograma da imagem e encontrar uma função polinomial cujo grau é escolhido criteriosamente, de modo a que se ajuste adequadamente à forma do histograma. Um valor adequado para o parâmetro T pode, então, ser encontrado no ponto onde a função polinomial atinge um mínimo. É de realçar que dois picos no histograma requerem, no mínimo, um polinómio do quarto grau (dois máximos e um mínimo), recomendando-se, no entanto, a utilização de modelos de grau superior (quinto ou sexto), para permitir maior flexibilidade. Se, nestes casos, a função tiver mais do que um mínimo, normalmente é simples identificar qual deles é o apropriado (Solomon & Breckon, 2011).

Um dos primeiros algoritmos para a seleção automática do limiar foi sugerido por Otsu, sendo baseado em análise discriminante. À semelhança do algoritmo iterativo que foi descrito, começa por supor que os *pixels* da imagem têm L níveis de cinza, que vão ser separados, por um limiar T , em duas classes, C_0 e C_1 . A partir daqui, o utilizador define a variância dentro das classes, a variância total (constante) e a variância entre as classes, esta última como função das outras duas. O objetivo do método é determinar o valor de T que maximiza a variância entre as classes, e que será, portanto, um valor ótimo para o limiar (Otsu, 1979).

3.3.2. CRESCIMENTO DE REGIÕES (REGION GROWING)

Uma outra técnica de segmentação de imagem é o crescimento de regiões (*region growing*), um procedimento que agrupa *pixels* ou sub-regiões em regiões maiores. Começa com um número de *pixels*, chamados “sementes”, que se encontram distribuídos aleatoriamente na imagem. A cada “semente” vão sendo anexados outros *pixels* vizinhos, que satisfazem critérios de similaridade, tais como a intensidade, a cor e a textura. O processo repete-se até que não seja possível agregar mais *pixels* à região, tendo em conta as condições de inclusão. Uma destas condições poderá ser, por exemplo, a que estabelece que a diferença absoluta entre a intensidade de um *pixel*/candidato e a do *pixel* “semente”, deve estar dentro de um intervalo previamente especificado (Solomon & Breckon, 2011).

3.3.3. DETEÇÃO DE BORDAS – FILTROS PASSA-ALTO NO DOMÍNIO ESPACIAL

A deteção de bordas (Figura 15 (c)) é um aspeto muito importante no processamento de imagem, pois, se se encontrar as bordas de um objeto de uma imagem, efetivamente está feita a sua segmentação. As bordas correspondem a alterações bruscas nos níveis de cinza, pelo que a sua deteção é feita recorrendo a filtros passa-alto. Tal como aconteceu com a suavização da imagem, apresentar-se-ão alguns destes filtros, quer no domínio do espaço, quer no da frequência.

Contrariamente aos filtros de suavização, os filtros passa-alto atenuam ou eliminam as componentes de frequência espaciais baixas, colocando a ênfase nas altas frequências. Por conseguinte, são sensíveis ao ruído e realçam as linhas e as bordas dos objetos, sendo utilizados para a sua deteção (Acharya & Ray, 2005). Estes filtros têm coeficientes positivos perto do seu centro, sendo negativos os mais exteriores. Na Figura 16, pode observar-se a máscara típica de um filtro linear espacial passa-alto.

$$\frac{1}{9} \times \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Figura 16 – Típico filtro linear espacial passa-alto

Os filtros passa-alto removem toda a informação da imagem, com exceção das bordas e de outras componentes de alta frequência, tais como a textura. Por isso, para melhorar a qualidade de uma imagem, este tipo de filtros não é a melhor solução, já que elimina todas as componentes importantes de baixa frequência que são necessárias para que a melhoria aconteça. Além deste inconveniente, existe a possibilidade de surgirem números negativos como valores de *pixels* da imagem filtrada. Pode, então, utilizar-se filtros *high-boost* ou filtros com ênfase em alta frequência, extensões de filtros passa-alto, para resolver estes inconvenientes (preservam algumas componentes de baixa frequência e evitam números negativos, ao mesmo tempo que realçam as altas frequências) (Najarian & Splinter, 2012).

Os filtros detetores de bordas são basicamente filtros passa-alto (Karande & Talbar, 2014). Uma borda delimita duas regiões distintas, ou seja, é a fronteira entre elas. Portanto, as bordas são detetadas a partir da presença de pontos de descontinuidades na imagem, nos quais se registam variações bruscas nos níveis de cinza, que indicam o final de uma região da imagem e o início de outra. Numa função contínua, as singularidades podem ser caracterizadas facilmente como descontinuidades onde o gradiente tende para infinito. No caso de dados discretos, que é o que acontece com uma imagem digital, as descontinuidades existem em pontos onde o gradiente é máximo, o que é o mesmo que dizer que o gradiente aponta na direção da maior variação de níveis de cinza (Solomon & Breckon, 2011; Karande & Talbar, 2014). Estas reflexões sugerem que se utilizem operadores de derivadas para detetar essas descontinuidades, sem que sejam alteradas as regiões suaves da imagem. Estes operadores podem ser de primeira ou de segunda ordem,

conforme se baseiam no uso da primeira ou da segunda derivada da função que representa a imagem (gradiente ou laplaciano, respetivamente) (Solomon & Breckon, 2011; Acharya & Ray, 2005).

O gradiente (∇) de uma função contínua $f(x, y)$ em duas dimensões é o vetor cujas componentes são as derivadas parciais de primeira ordem, relativamente a x e a y , equação (17) (Solomon & Breckon, 2011):

$$\nabla f(x, y) = \left(\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right) \quad (17)$$

Estas derivadas parciais são dadas pela equação (18) e pela equação (19) (Solomon & Breckon, 2011):

$$\nabla_x = \frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x + \Delta x, y) - f(x, y)}{\Delta x} \quad (18)$$

$$\nabla_y = \frac{\partial f}{\partial y} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{f(x, y + \Delta y) - f(x, y)}{\Delta y} \quad (19)$$

A norma dum gradiente pode ser calculada pela equação (20), pela equação (21) ou pela equação (22) (Acharya & Ray, 2005):

$$\|\nabla f(x, y)\| = \sqrt{(\nabla_x)^2 + (\nabla_y)^2} \quad (20)$$

$$\|\nabla f(x, y)\| = |\nabla_x| + |\nabla_y| \quad (21)$$

$$\|\nabla f(x, y)\| = \max\{|\nabla_x|, |\nabla_y|\} \quad (22)$$

Uma aproximação discreta do gradiente de uma função $f(x, y)$, num determinado ponto (x, y) , é calculada pela diferença de valores de *pixels* vizinhos, o que pode exprimir-se na forma da equação (23) (Solomon & Breckon, 2011):

$$\nabla f(x, y) = (f(x + 1, y) - f(x, y), f(x, y + 1) - f(x, y)) \quad (23)$$

Há uma condição importante quando se implementam estes operadores de gradiente: a soma dos seus coeficientes deve ser zero, para assegurar que, nas regiões suaves da imagem, a sua resposta é zero. Os operadores de gradiente são operadores lineares que requerem duas máscaras, para se obter as componentes horizontal e vertical do gradiente da imagem, em cada ponto.

3.3.4. DETECÇÃO DE BORDAS – FILTROS PASSA-ALTO NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA

As bordas e outros elementos de uma imagem, correspondentes a mudanças bruscas nos níveis de cinza, estão associados a componentes de alta frequência, podendo ser realçados, tal como acontece no domínio espacial, com filtros passa-alto no domínio de Fourier, que atenuam as componentes de baixas frequências, sem alterar a informação contida nas altas frequências. O que se pretende com este tipo de filtros é, portanto, adotar o procedimento inverso do que foi apresentado para os filtros passa-baixo: as frequências atenuadas pelos filtros passa-baixo são deixadas passar pelos filtros passa-alto, sendo também verdadeiro o recíproco. Sendo $H_{pa}(u, v)$ um filtro passa-alto e $H_{pb}(u, v)$ o correspondente filtro passa-baixo, tal procedimento pode sintetizar-se simbolicamente de acordo com a equação (24) (Reddy & Prasad, 2010):

$$H_{pa}(u, v) = 1 - H_{pb}(u, v) \quad (24)$$

Face ao exposto, apresentar-se-ão as funções de transferência dos dois filtros passa-alto correspondentes aos passa-baixo referidos: o ideal e o gaussiano.

A função de transferência do filtro passa-alto ideal bidimensional expressa-se, em linguagem matemática, na forma da equação (25) (Reddy & Prasad, 2010):

$$H(u, v) = \begin{cases} 0 & \text{se } D(u, v) \leq D_0 \\ 1 & \text{se } D(u, v) > D_0 \end{cases} \quad (25)$$

Contrariamente ao filtro homólogo passa-baixo, este filtro elimina todas as frequências dentro do círculo de raio D_0 , e passa, sem atenuação, todas as que estão fora dele. Todavia, à semelhança daquele, é esperado o aparecimento do efeito de *ringing*, bastante acentuado para baixos valores de D_0 , mas cada vez menos pronunciado, à medida que aumenta a frequência de corte (Gonzalez & Woods, 2008).

Quando os objetos presentes numa imagem têm bordas com níveis de cinza próximos dos do fundo da imagem, dão origem a descontinuidades de pequena amplitude, sendo, por isso, pouco visível o efeito de *ringing* (Gonzalez & Woods, 2008).

Quanto ao filtro gaussiano passa-alto bidimensional, a equação (26) define a sua função de transferência (Reddy & Prasad, 2010):

$$H(u, v) = 1 - e^{-D^2(u, v)/(2D_0^2)} \quad (26)$$

Os resultados são agora mais suaves do que os obtidos com o filtro passa-alto ideal. Mesmo a

filtragem de objetos mais pequenos ou de barras finas é mais clara com este tipo de filtros. São, por conseguinte, bastante adequados, na prática. (Gonzalez & Woods, 2008).

3.4. Extração de Caraterísticas

Depois da segmentação, é necessário representar e descrever cada região numa forma adequada para ser processada computacionalmente, o que pode ser feito em termos das suas caraterísticas externas ou das internas. A seleção de uma ou de outra destas representações deve ser feita de modo a que os dados se tornem úteis para o computador. Assim, se se pretende enfatizar as caraterísticas da forma da região, por exemplo, o comprimento da sua borda, a orientação dos segmentos de reta que unem os vértices desta, o número de concavidades que ela possui, a escolha da representação recairá nos seus atributos externos; mas se o foco principal incide nos *pixels* que constituem a região, ou, por outras palavras, em propriedades desta, tais como a cor ou a textura, então os atributos internos deverão ser a opção. Por vezes pode ser necessário o uso de ambos os tipos de representação. Em qualquer dos casos, as caraterísticas seleccionadas para descrever uma região, ou seja, os descritores, deverão ser, tanto quanto possível, insensíveis a variações em tamanho, em translação e em rotação (Gonzalez & Woods, 2008).

Entre as diferentes técnicas existentes para se proceder à representação de uma imagem, podem ser referidas o código em cadeia e a aproximação poligonal.

3.4.1. CÓDIGO EM CADEIA

Para representar a borda de uma região, o código em cadeia utiliza uma sequência de segmentos de reta, ligados entre si, com comprimentos e direções específicas. A direção de cada segmento é codificada através de um esquema de numeração, baseado numa das vizinhanças 4-conectada ou 8-conectada de um *pixel*, como se pode ver na Figura 17. A sequência de todos os números direcionais, obtida para uma borda, é denominada código em cadeia de Freeman (Gonzalez & Woods, 2008; A. Yadav & P. Yadav, 2009).

Geralmente as imagens digitais são adquiridas e processadas no formato de uma grade, igualmente espaçada nas direções horizontal e vertical, pelo que o código em cadeia pode ser gerado percorrendo a borda, por exemplo, no sentido dos ponteiros do relógio, e atribuindo um número à direção de cada segmento que liga um par de *pixels* (A. Yadav & P. Yadav, 2009).

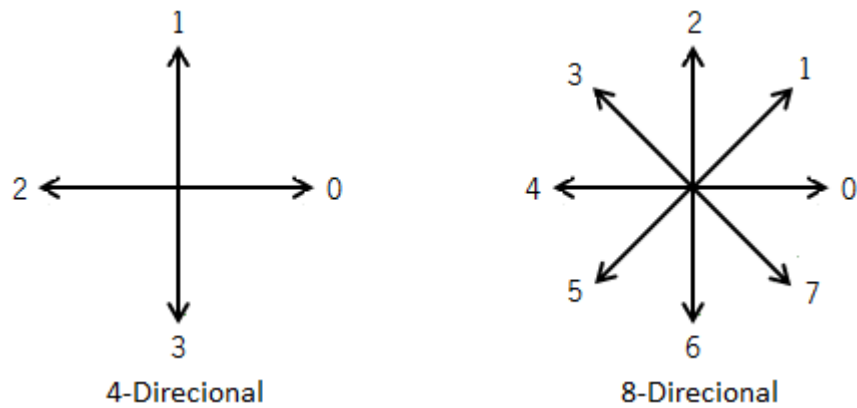


Figura 17 – Direções do código em cadeia. Adaptada de (A. Yadav & P. Yadav, 2009)

Mas este método tem duas desvantagens básicas: as cadeias em código que resultam têm tendência para serem bastante longas; qualquer pequena mudança na borda, devida a ruído ou a outra perturbação, causa alterações no código, que pode não ter relação com o verdadeiro contorno da imagem. Para ultrapassar este problema, pode proceder-se a uma nova amostragem, selecionando uma grade mais larga e atribuindo um ponto da borda original a um nodo da nova grade, de acordo com a proximidade entre estes (Figura 18) (Gonzalez & Woods, 2008; A. Yadav & P. Yadav, 2009).

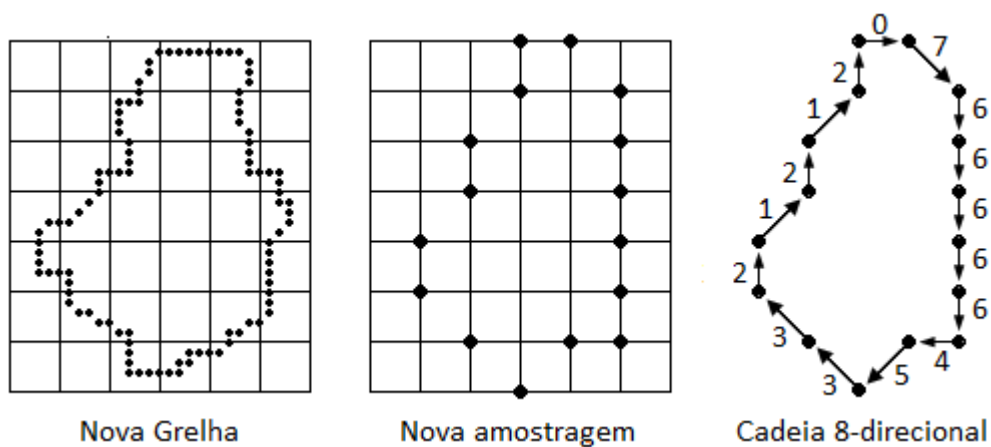


Figura 18 – Código em cadeia 8-direcional, depois de nova amostragem. Adaptada de (Gonzalez & Woods, 2008)

O código de uma borda varia com a rotação e depende do ponto inicial, podendo, no entanto, ser normalizado em relação a este ponto. O procedimento utilizado para se realizar a normalização, chamado primeira diferença, em lugar dos sucessivos números direcionais correspondentes aos diferentes segmentos de reta que formam a borda, conta o número de vezes que a direção muda, entre cada par de elementos consecutivos do código e considera a sequência circular desses números. A contagem é obtida utilizando um dos esquemas 4-direcional ou 8-direcional, e

percorrendo-o no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio. Sendo a sequência circular (fechada), o seu primeiro elemento corresponderá ao número de mudanças de direção ocorridas entre o último e o primeiro elemento da cadeia (Gonzalez & Woods, 2008; Annadurai & Shanmugalakshmi, 2007). Algumas destas contagens, relativas ao esquema 4-direcional, podem ser observadas na Figura 19: se 1 (um) e 0 (zero) são elementos consecutivos de uma sequência, entre eles ocorrem 3 (três) mudanças de direção; já entre 0 (zero) e 1 (um), verifica-se apenas 1 (uma); de 3 (três) para 1 (um) contam-se 2 (duas); são também 2 (duas) as que se observam entre 2 (dois) e 0 (zero)

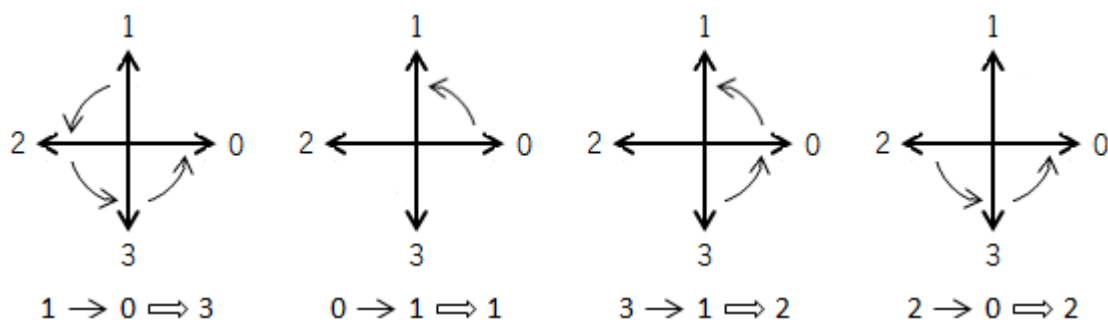


Figura 19 – Algumas contagens do número de mudanças de direção

Terminado este processo, é necessário redefinir o ponto inicial, que começou por ser arbitrário, para que seja mínimo o número obtido para a sequência normalizada, isto é, o número cujos algarismos correspondem às contagens feitas para as mudanças de direção. Agindo desta maneira, o código normalizado que se obtém é invariante à rotação, sendo único para uma borda específica (Annadurai & Shanmugalakshmi, 2007).

Considere-se a Figura 20, onde se pode observar o código em cadeia 4-direcional de uma borda (a) e o obtido por uma rotação de 90° (b).

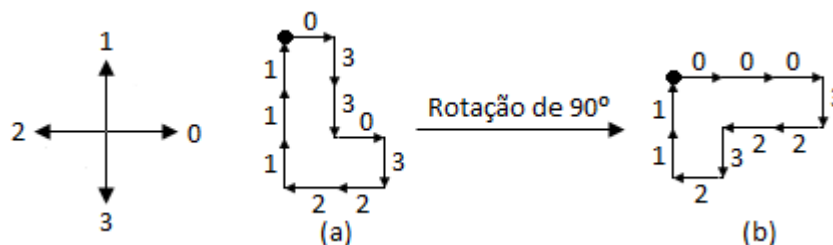


Figura 20 – Código em cadeia: (a) Código em cadeia de uma dada borda; (b) Código da mesma borda após rotação de 90° . Adaptada de (Santos L. P., 1995)

Desta figura, é possível concluir que, começando no ponto assinalado com um pequeno círculo preto, o código em cadeia da borda (a) é 0 3 3 0 3 2 2 1 1 1, enquanto o da borda (b) é

0 0 0 3 2 2 3 2 1 1, diferentes, face à rotação. Normalizando estas sequências, de acordo com o procedimento referido anteriormente, obtém-se, respetivamente, 3 3 0 1 3 3 0 3 0 0 e 3 0 0 3 3 0 1 3 3 0, que continuam a ser diferentes. Contudo, falta ainda redefinir o ponto inicial para que qualquer das sequências represente um número que seja o menor possível. Como nas sequências se encontram algarismos iguais a 0 (zero), os menores números possíveis serão os que têm estes dígitos à esquerda. Basta, portanto, rodar os algarismos de modo que os dois dígitos iguais a 0 (zero) passem a ocupar as primeiras posições, obtendo-se, para ambas as sequências, 0 0 3 3 0 1 3 3 0 3 (Santos L. P., 1995).

3.4.2. APROXIMAÇÃO POLIGONAL

Qualquer curva plana fechada pode ser aproximada por um polígono, com um grau de precisão que se desejar, de modo que a sua representação tenha o aspeto de uma sequência de segmentos de reta. Embora, no caso de uma borda, encontrar tal polígono se possa tornar numa busca iterativa muito demorada, existem outras técnicas, de menor complexidade, que são adequadas em processamento de imagem, uma das quais reside na representação da borda por um polígono de perímetro mínimo (Gonzalez & Woods, 2008; Acharya & Ray, 2005).

Uma abordagem capaz de gerar um algoritmo para calcular um polígono de perímetro mínimo consiste em considerar um conjunto de células concatenadas, (preenchidas a cinzento claro, na Figura 21), chamado complexo celular, nas quais a borda esteja contida. Como se pode observar na mesma figura, o complexo celular define uma região interior (a cinzento escuro), cuja fronteira é constituída por segmentos ligados entre si, de acordo com o esquema 4-direcional (supondo-a percorrida no sentido anti-horário), e que se intersejam em pontos que são vértices de ângulos convexos (pontos a branco) ou vértices de ângulos côncavos (pontos a preto), da referida região. Por uma questão de simplificação de linguagem, passarão a ser referidos apenas como vértices convexos ou vértices côncavos, respetivamente, ou, então, como vértices brancos ou vértices pretos (Gonzalez & Woods, 2008).

Todos estes vértices são pontos da parede interior do complexo celular. Porém, nenhum dos vértices côncavos será vértice do polígono que se procura. No entanto, para cada um deles, existe um correspondente na parede exterior, que lhe é diagonalmente oposto, e este, sim, será um candidato na busca a realizar (Figura 22).

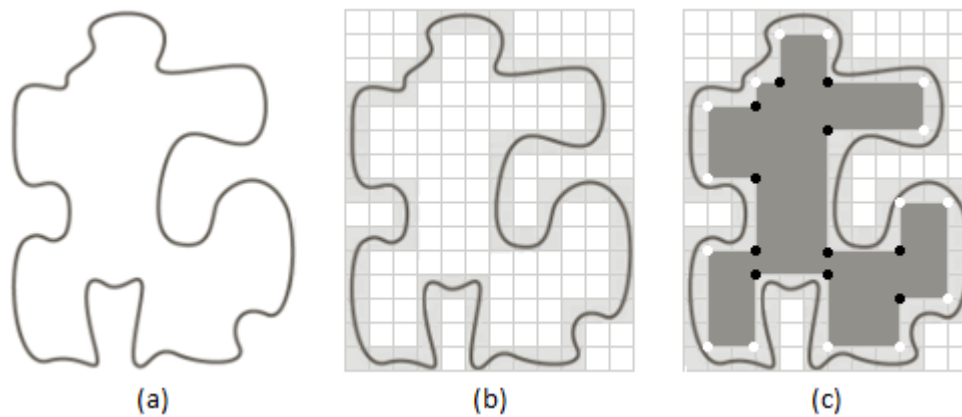


Figura 21 – Aproximação poligonal: (a) Borda de um objeto; (b) Inclusão da borda num complexo celular; (c) Região definida e seus vértices convexos e côncavos. Adaptada de (Gonzalez & Woods, 2008)

Assim, os vértices do polígono de perímetro mínimo vão coincidir com vértices convexos da parede interior do complexo celular, ou com vértices da parede exterior, diagonalmente opostos aos vértices côncavos, também estes côncavos. E embora se possa afirmar que todos os vértices do polígono de perímetro mínimo se encontram entre uns ou outros destes vértices, o recíproco não é verdadeiro, ou seja, pode haver vértices de um destes tipos que acabam por não ser vértices do polígono pretendido. Por outras palavras, isto significa que todos estes vértices começam por ser assumidos apenas como candidatos a vértices do polígono procurado, sem a certeza de que realmente o venham a ser (Gonzalez & Woods, 2008).

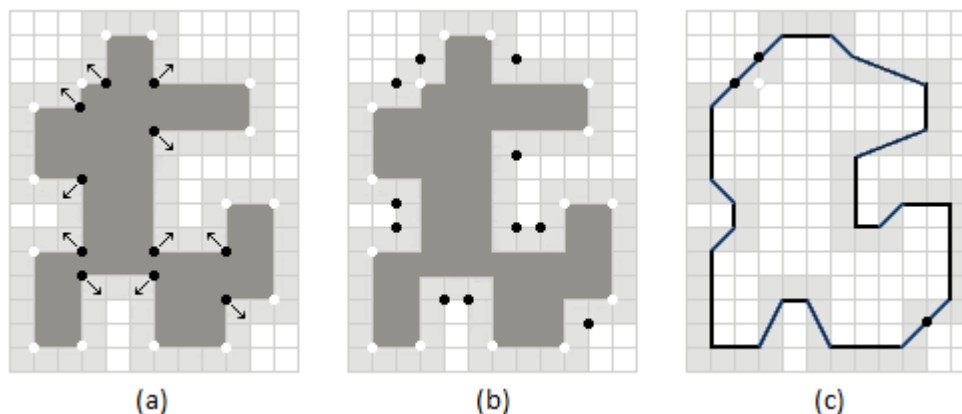


Figura 22 – Aproximação poligonal: (a) Deslocamento dos vértices côncavos; (b) Nova posição destes vértices; (c) Polígono de perímetro mínimo e vértices não detetados. Adaptada de (Gonzalez & Woods, 2008)

A compreensão do algoritmo que permite encontrar os vértices que definirão o polígono de perímetro mínimo torna necessário que se conheça o sentido em que quaisquer três pontos consecutivos são percorridos, o que exige o conhecimento das suas coordenadas. Para isso, o referencial utilizado

terá origem no ponto superior esquerdo da grade utilizada, a parte positiva do eixo relativo a x estender-se-á verticalmente para baixo, e o eixo relativo a y será horizontal, com a parte positiva voltada para a direita. Nestas condições, sejam $P(x_1, y_1)$, $Q(x_2, y_2)$ e $R(x_3, y_3)$ três pontos consecutivos de uma dada sequência. Estas coordenadas podem ser dispostas nas linhas de uma matriz A , cujo determinante ($\det A$) precisa de ser calculado. Sendo este cálculo apenas possível para matrizes quadradas, à matriz das coordenadas acrescenta-se uma coluna com todos os elementos iguais a 1 (um), o que origina a equação (27) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Por uma questão de conveniência aquando da descrição do algoritmo, utilizar-se-á, com os devidos ajustes, a notação da equação (28):

$$\det A = \text{sign}(P, Q, R) \quad (28)$$

Antes de se começar a utilizar o algoritmo que vai determinar quais os pontos que formarão o polígono de perímetro mínimo, é fundamental que se faça uma lista de todos os candidatos atrás referidos: vértices convexos, na parede interior do complexo celular, e vértices côncavos, na parede exterior do mesmo complexo. É importante que o vértice inicial seja o que se situa na posição mais acima e mais à esquerda, que é sempre um vértice convexo (branco) do polígono procurado. Este vértice será representado simbolicamente por V_0 . Seguir-se-ão, na lista, um a um, todos os restantes pontos, obedecendo à ordem sequencial em que vão aparecendo, quando percorridos no sentido anti-horário, sendo designados, respetivamente, por V_1, V_2, \dots, V_n . De referir que existem algoritmos de ordenação sequencial de pontos (Gonzalez & Woods, 2008).

O algoritmo utiliza dois pontos rastreadores: um branco (B_R), que irá investigar os vértices convexos; outro preto (P_R), que fará o mesmo com os côncavos. Em determinado passo de utilização do algoritmo, poderá ser detetado, ou não, um vértice do polígono. Caso o seja, a notação V_U será utilizada para identificar o último vértice encontrado. Tem-se, agora, os três pontos necessários para fazer correr o algoritmo: V_U , um dos rastreadores B_R ou P_R , e V_k , sendo este último o vértice que se vai examinar (Gonzalez & Woods, 2008).

Tendo-se a certeza de que V_0 é um vértice do polígono pretendido, inicia-se o algoritmo fazendo $V_U = B_R = P_R = V_0$, e examina-se o vértice seguinte (Gonzalez & Woods, 2008).

Uma das seguintes três condições irá verificar-se (Gonzalez & Woods, 2008):

1. $\text{sign}(V_U, B_R, V_k) > 0$;
2. $\text{sign}(V_U, B_R, V_k) \leq 0$ e $\text{sign}(V_U, P_R, V_k) \leq 0$;
3. $\text{sign}(V_U, P_R, V_k) < 0$.

Se se verificar a primeira condição, o rastreador B_R será um novo vértice convexo do polígono e far-se-á $V_U = B_R$, reiniciando-se, de seguida, o algoritmo com $B_R = P_R = V_U$ e examinado o vértice que se segue ao novo V_U , que, na realidade, é o mesmo que foi examinado no passo anterior, mas com outro V_U (Gonzalez & Woods, 2008).

No caso de se verificar a segunda condição, o vértice V_k que acabou de ser examinado vai transformar-se num novo rastreador, branco ou preto, conforme seja convexo ou côncavo, respetivamente. O algoritmo reinicia-se fazendo, então, $B_R = V_k$ ou $P_R = V_k$ (apenas um), mantendo os restantes pontos (V_U e o rastreador não alterado) e examinado o próximo vértice da lista (Gonzalez & Woods, 2008).

Mas se é a terceira situação que ocorre, o rastreador P_R está garantido como novo vértice côncavo do polígono, far-se-á $V_U = P_R$, reinicia-se o algoritmo com $B_R = P_R = V_U$, e o vértice a examinar será o mesmo do passo anterior, que, efetivamente, é o que se segue ao V_U acabado de encontrar (Gonzalez & Woods, 2008).

O algoritmo termina quando for atingido novamente o primeiro vértice, significando que foram percorridos todos os vértices da lista elaborada. Tem sido provado que este algoritmo deteta todos os vértices de um polígono de perímetro mínimo, incluído num complexo celular (Gonzalez & Woods, 2008).

Na Figura 22 (c) estão indicados três vértices côncavos (V_1 , V_3 e V_{15}) e um vértice convexo (V_2) que não foram detetados por este algoritmo. A explicação é simples: V_1 e V_3 são colineares com V_0 e V_4 , e V_{15} é colinear com V_{14} e V_{16} , não sendo, por isso, considerados vértices do polígono; quanto ao vértice convexo, se fosse detetado, não originaria o menor perímetro.

A precisão da aproximação poligonal é determinada pelo tamanho das células. O objetivo é utilizar um tamanho de célula que, numa determinada aplicação, seja o maior possível, mas dentro do aceitável, para que o polígono tenha o menor número de vértices (Gonzalez & Woods, 2008).

3.5. Reconhecimento de Padrões

Depois da segmentação de uma imagem em regiões de interesse e da extração das informações individuais que as permitem representar numa forma adequada, com base em descritores, é altura de passar à etapa seguinte, o reconhecimento de padrões, entendendo-se como padrão ou objeto qualquer região da imagem. Um padrão é, então, um arranjo de descritores. Quando vários padrões apresentam propriedades comuns, diz-se que constituem uma classe de padrões (Gonzalez & Woods, 2008).

Existem muitas técnicas que podem ser utilizadas para resolver os problemas de reconhecimento de padrões, podendo agrupar-se em duas abordagens gerais: a decisão teórica ou discriminante, e a sintática ou estrutural. A primeira utiliza descritores quantitativos, tais como comprimento, área e textura, extraídos dos padrões; quanto à segunda, ela opta por descritores qualitativos, como é o caso de descritores relacionais, que procuram regras básicas para descreverem padrões repetitivos numa borda ou numa região (Gonzalez & Woods, 2008).

Fundamental no tema do reconhecimento de padrões é o conceito de aprendizagem de máquina (*machine learning*). Qualquer definição de aprendizagem, quando aplicada a máquinas, é muito discutível. Todavia, não se coloca, aqui, qualquer problema relativo a este conceito, já que a aprendizagem será vista num sentido prático, não teórico, como uma técnica para encontrar e descrever padrões estruturais nos dados, uma ferramenta para ajudar a explicar os dados e fazer previsões a partir deles (Witten, Eibe, & Hall, 2011). O reconhecimento de padrões baseado em aprendizagem de máquina envolve técnicas que atribuem padrões às respetivas classes, de forma automática e com a menor intervenção humana possível (Gonzalez & Woods, 2008).

A escolha de um método de classificação depende da natureza do problema que se pretende resolver.

3.5.1. RECONHECIMENTO BASEADO EM MÉTODOS DE DECISÃO TEÓRICA – CLASSIFICADOR DE DISTÂNCIA MÍNIMA

As técnicas de decisão teórica são baseadas em métodos determinísticos ou estatísticos, mais propriamente em funções de decisão, as quais consideram um padrão como um vetor cujas componentes são as características que o definem, com informação quantitativa. Um vetor pode ser representado por uma matriz coluna, ou, de outra forma, pela sua transposta, que é uma matriz linha. Suponha-se que se tem o vetor de padrão n -dimensional $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ e W classes

de padrões, $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_W$. Nestas condições, o problema de reconhecimento de padrões consiste em encontrar funções de decisão $d_1(x), d_2(x), \dots, d_W(x)$, tais que, se um padrão x pertence à classe ω_i , então terá de se verificar a expressão (29) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$d_i(x) > d_j(x) \quad j = 1, 2, \dots, W; j \neq i \quad (29)$$

Traduzindo este resultado por outras palavras, pode dizer-se que, se um padrão desconhecido x pertence à i -ésima classe, entre todos os valores obtidos para as funções de decisão, relativos a este padrão, o maior é $d_i(x)$ (Gonzalez & Woods, 2008).

A fronteira de decisão que separa duas classes ω_i e ω_j é dada pelos valores de x para os quais $d_i(x) = d_j(x)$, que é equivalente à equação (30) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$d_i(x) - d_j(x) = 0 \quad (30)$$

Na prática, é usual representar a diferença $d_i(x) - d_j(x)$ por $d_{ij}(x)$. Assim sendo, a fronteira de decisão será definida por $d_{ij}(x) = 0$; se $d_{ij}(x) > 0$, os padrões pertencem à classe ω_i ; para padrões da classe ω_j verificar-se-á $d_{ij}(x) < 0$ (Gonzalez & Woods, 2008).

Como já foi referido, o problema que aqui se coloca incide na determinação das funções de decisão $d_1(x), d_2(x), \dots, d_W(x)$. Algumas técnicas para o fazer baseiam-se em *matching*, que representam cada classe por um protótipo de vetor de padrão. Um padrão desconhecido é atribuído à classe que está mais próxima dele, tendo em conta uma métrica predefinida. A abordagem mais simples é o classificador de distância mínima, que calcula a distância euclidiana entre o padrão desconhecido e cada um dos protótipos dos vetores de padrão, escolhendo a menor distância para tomar a decisão (Gonzalez & Woods, 2008).

Sendo W o número de classes de padrão e N_j o número de vetores de padrão da classe ω_j , um protótipo desta classe de padrões poderá ser o vetor média dos padrões dessa classe, dado pela equação (31) (Gonzalez & Woods, 2008; Acharya & Ray, 2005):

$$m_j = \frac{1}{N_j} \sum_{x \in \omega_j} x_i \quad j = 1, 2, \dots, W \quad (31)$$

A determinação da classe a que irá pertencer um desconhecido vetor de padrão x consiste em atribuí-lo à classe cujo protótipo é o que está mais próximo dele. Relembrando que, em termos de distância euclidiana, a expressão $\|a\| = (a^T a)^{1/2}$ é utilizada para se obter a norma de um vetor a ($\|a\|$), a referida proximidade pode ser conseguida calculando as diferentes distâncias entre o

vetor x e cada um dos protótipos, através da equação (32) (Gonzalez & Woods, 2008; Acharya & Ray, 2005):

$$D_j(x) = \|x - m_j\| \quad j = 1, 2, \dots, W \quad (32)$$

O vetor x é, então, atribuído à classe ω_i , relativamente à qual $D_i(x)$ é o menor dos valores das sucessivas distâncias determinadas. Porém, selecionar a menor destas distâncias equivale a definir as funções de decisão, equação (33) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$d_j(x) = x^T m_j - \frac{1}{2} m_j^T m_j \quad j = 1, 2, \dots, W \quad (33)$$

Verifica-se que o valor de $D_j(x)$ é mínimo quando $d_j(x)$ é máximo, condição que é exigida para a definição das funções de decisão (Gonzalez & Woods, 2008).

3.5.2. RECONHECIMENTO BASEADO EM MÉTODOS DE DECISÃO ESTRUTURAL – STRING MATCHING

A investigação relativa ao reconhecimento de padrões começou por incidir, sobretudo, nos métodos de decisão teórica e nas suas aplicações. Contudo, é possível observar uma estrutura inerente a cada padrão, que revela a existência de inter-relações entre os subpadrões ou primitivas que o formam. É aqui que se encontram as limitações das técnicas de decisão teórica, já que estas se mostram incapazes de gerir tais relações. A informação estrutural que descreve cada padrão é importante, e o processo de reconhecimento inclui, não só a capacidade de atribuir o padrão a uma classe particular, isto é, de o classificar, mas também a de apresentar aspetos do padrão que o impedem de ser atribuído a outra classe. A descrição articulada de um padrão, em termos das inter-relações entre os elementos primitivos do padrão, constitui a base da abordagem estrutural ou sintática para o reconhecimento de padrões (Acharya & Ray, 2005; Fu, 1977).

Os métodos de decisão estrutural para o reconhecimento de padrões, em lugar de vetores, utilizam *strings*. Cada padrão é caracterizado por uma série de primitivas, sendo a sua classificação baseada na análise da *string* formada por tais primitivas. Se estas ainda revelarem uma estrutura complexa, podem voltar a ser descritas por subpadrões mais simples, facilmente identificáveis (Acharya & Ray, 2005).

Uma das técnicas que se pode incluir neste tipo de abordagem é a de *string matching*. Considerem-se, então, duas bordas de região a e b , codificadas pelas *strings* $a_1 a_2 \dots a_n$ e $b_1 b_2 \dots b_n$, respetivamente, e seja α o número de correspondências entre as duas *strings*, partindo do princípio

que ocorre uma correspondência na k -ésima posição se $a_k = b_k$. Suponha-se que $|a|$ e $|b|$ representam os comprimentos (número de símbolos) das *strings* a e b , na devida ordem. Nestas condições, o número β de símbolos que não correspondem verifica a equação (34) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$\beta = \max(|a|, |b|) - \alpha \quad (34)$$

É possível mostrar que $\beta = 0$ se e só se a e b forem idênticas, usando-se como medida de similaridade entre a e b o número R dado pela razão que consta na equação (35) (Gonzalez & Woods, 2008):

$$R = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{\alpha}{\max(|a|, |b|) - \alpha} \quad (35)$$

Uma análise desta expressão leva a concluir que, para uma correspondência perfeita, R torna-se infinito, e é igual a 0 (zero) quando não existem símbolos correspondentes nas duas *strings* a e b ($\alpha = 0$). O maior valor de R oferece a melhor correspondência (Gonzalez & Woods, 2008).

3.5.3. RECONHECIMENTO DAS ARTICULAÇÕES DO CORPO HUMANO

A criação de intensidades realistas de imagens através de técnicas de computação gráfica tem sido dificultada pela enorme variabilidade de cor e de textura, induzida pelas roupas, pelo cabelo e pela pele, o que significa, muitas vezes, que os dados são reduzidos a silhuetas 2D. Além disso, as imagens sintetizadas da postura do corpo necessitam de dados de captura de movimento (*mocap*) e, embora existam técnicas para simular o movimento humano, elas ainda não conseguem produzir toda a gama de movimentos voluntários de uma pessoa (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

3.5.3.1. Imagiologia de Profundidade

Com o lançamento do sensor *Kinect*, a tecnologia de imagem de profundidade avançou muito ao longo dos últimos anos. Numa imagem de profundidade, os *pixels*, mais do que uma medida de intensidade ou de cor, indicam a profundidade. A câmara *Kinect* devolve uma imagem de 640×480 *pixels*, a 30 *frames* por segundo, com resolução de profundidade de alguns centímetros (Shotton, et al., 2011).

Relativamente aos sensores de intensidade tradicionais, as câmaras de profundidade oferecem algumas vantagens: trabalham em níveis baixos de luz; apresentam uma estimativa de escala calibrada; são invariáveis à cor e à textura; resolvem ambiguidades de silhueta; simplificam muito a

tarefa de subtração do plano de fundo da imagem. Mas o mais importante é a sua capacidade de sintetizar imagens realistas de profundidade, construindo, assim, um vasto e económico conjunto de dados de treino (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

3.5.3.2. Dados de captura de movimento

O corpo humano é capaz de uma enorme variedade de posturas difíceis de simular. Porém, a equipa de investigação de Jamie Shotton et al. (2011) desenvolveu um método para a estimação da postura humana, que é o *core* da plataforma de jogos do sensor *Kinect*. Este permite prever, rapidamente e com precisão, as posições 3D das articulações do corpo, a partir de uma única imagem de profundidade, sem utilizar qualquer informação temporal. A chave para esta abordagem está na utilização de um grande, realista, e muito variado conjunto sintetizado de imagens de treino, que permite conhecer modelos que são extremamente invariantes a fatores como postura, forma do corpo, segmentação do campo de visão e roupas. Por conseguinte, a referida equipa criou uma base de dados de captura de movimento das ações humanas, pretendendo abranger uma grande variedade de posturas de pessoas, num cenário de entretenimento. A base de dados consiste em aproximadamente 500 mil *frames*, em algumas centenas de sequências que envolvem ações como conduzir, dançar, chutar, correr ou navegar em menus.

Não é necessário gravar todas as combinações possíveis dos diferentes membros; uma vasta gama de posturas é suficiente, havendo algumas que podem ser adicionadas automaticamente. Como o classificador não utiliza nenhuma informação temporal, só interessam posturas estáticas e não em movimento. Muitas vezes acontece que as diferenças entre as posturas de um *frame* e as do seguinte são praticamente insignificantes, tornando-se redundantes e sendo, por isso, descartadas (Shotton, et al., 2011).

Os elementos da mesma equipa utilizaram um subconjunto de 100 mil posturas, não havendo, entre elas, duas quaisquer que estivessem mais próximas do que cinco centímetros, no sentido da distância euclidiana. Eles descobriram que, para aperfeiçoar a base de dados com regiões do espaço de postura que tinham previamente ficado de fora, é preciso iterar o processo de captura de movimento, com a amostragem do seu modelo, com o treino do classificador e com o teste de precisão relativo à previsão da articulação (Shotton, et al., 2011).

O método desenvolvido utiliza a representação intermediária de partes do corpo, concebida para que uma classificação precisa das partes, por *pixel*, localize as articulações do corpo. Utilizando recursos

simples de comparação de profundidade do *pixel* e florestas de decisão, a abordagem pode ser efetuada em tempo real, em *hardware* do consumidor (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

3.5.3.3. Criação de dados sintetizados

Adicionalmente, a equipa de Shotton construiu um *pipeline* de processamento aleatório, a partir do qual é possível amostrar imagens de treino, totalmente rotuladas. Foram dois os objetivos que levaram a tal construção: o realismo – as amostras deveriam ser, tanto quanto possível, semelhantes a imagens reais; a variedade – o conjunto de dados deve conter uma boa cobertura das variações de aparência que se espera reconhecer no momento do teste (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

Enquanto certas invariâncias podem ser tratadas explicitamente, graças às características do modelo, outras, tais como a postura, o tamanho e a forma do corpo, não podem ser codificadas de forma eficiente, sendo, por isso, aprendidas a partir dos dados de treino. O *pipeline* faz a amostragem de um conjunto de parâmetros, utilizando as melhores aproximações às variações que se prevê que sejam observadas no mundo real. Se as amostras contêm variações pouco independentes, pode esperar-se que o classificador aprenda um elevado grau de invariância (Shotton, et al., 2013).

As variações simuladas incluem modelos de personagens de base, postura, rotação e translação, cabelo e roupas, variações de peso e altura, posição e orientação da câmara e ruído da câmara. Como pode observar-se na Figura 23, as imagens sintetizadas parecem extraordinariamente semelhantes às imagens reais (Shotton, et al., 2013).



Figura 23 – Dados sintetizados *versus* dados reais (Shotton, et al., 2013)

Foram definidas várias etiquetas para partes do corpo localizadas, que cobrem densamente o corpo, como um código de cores. Algumas destas partes são definidas para localizar diretamente articulações particulares do esqueleto que sejam de interesse, enquanto outras preenchem as lacunas ou podem ser utilizadas em combinação, para prever outras articulações. Pares de imagens de profundidade e partes do corpo são utilizados como dados totalmente rotulados para a

aprendizagem do classificador. A definição precisa destas partes pode ser alterada, para se adequar a uma aplicação particular. Devem ser suficientemente pequenas, para localizar, com precisão, articulações do corpo, mas não muito numerosas, para não desperdiçar a capacidade do classificador (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

3.5.3.4. Caraterísticas da imagem de profundidade

Para extrair informações discriminativas da imagem, utilizaram-se caraterísticas de comparação de profundidade simples. Sendo u um determinado *pixel*, a resposta da caraterística é dada pela equação (36) (Shotton, et al., 2013):

$$f(u|\varphi) = z\left(u + \frac{\delta_1}{z(u)}\right) - z\left(u + \frac{\delta_2}{z(u)}\right) \quad (36)$$

Nesta equação, os parâmetros $\varphi = (\delta_1, \delta_2)$, da caraterística, descrevem os deslocamentos 2D do *pixel*, e a função $z(u)$ é a profundidade do *pixel*, na imagem. A normalização dos deslocamentos por $1/z(u)$ assegura que a resposta da caraterística é invariante relativamente à profundidade (Shotton, et al., 2013).

A conceção destas caraterísticas foi fortemente motivada pela sua eficiência computacional: não é necessário nenhum pré-processamento; cada caraterística apenas necessita de ler no máximo três *pixels* da imagem e de executar, no máximo, cinco operações aritméticas; os recursos podem ser diretamente implementados no processador gráfico (GPU). Com um custo computacional maior, podem utilizar-se caraterísticas mais poderosas, com base, por exemplo, em integrais de profundidade sobre regiões, curvatura, ou descritores locais (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

Individualmente, estas caraterísticas oferecem apenas um sinal discriminativo fraco, mas, combinadas com uma floresta de decisão, elas são suficientes para desfazer, com precisão, ambiguidades de diferentes aparências e regiões do corpo (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013)

As árvores e as florestas de decisão aleatórias (Figura 24) têm provado ser classificadores multiclasse rápidos e eficazes para muitas tarefas, e podem ser implementadas de forma eficiente na GPU. Uma floresta é um conjunto de T árvores de decisão, cada uma composta por nós de decisão, n (intermédios), e folhas, l (nós finais) (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

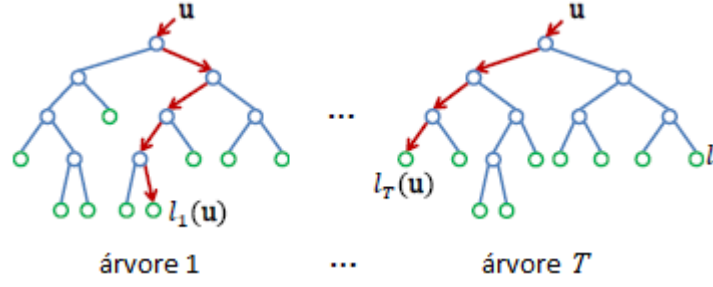


Figura 24 – Floresta de decisão aleatória (Adaptada de Shotton, et al., 2013)

Cada nó de decisão contém uma característica representada pelos seus parâmetros $\theta = (\varphi, \tau)$: os deslocamentos 2D, $\varphi = (\delta_1, \delta_2)$, utilizados para a avaliação da característica, e um *threshold* escalar, τ . Para fazer uma previsão para o *pixel* u , numa imagem particular, começa-se na raiz, avalia-se repetidamente a equação (36), em cada nó intermédio, e compara-se o valor obtido com o *threshold*, através da equação (37) (Shotton, et al., 2013):

$$h(u; \theta_n) = [f(u; \varphi_n) \geq \tau_n] \quad (37)$$

Esta comparação define, no respetivo nó de decisão, o prosseguimento do caminho, para a direita ou para a esquerda, até chegar a uma folha, na árvore t . A expressão $[f(u; \varphi_n) \geq \tau_n]$ é chamada o indicador, podendo ser 0 (zero) ou 1 (um). No primeiro caso, o caminho segue o ramo da esquerda, e, no segundo, prossegue para a direita (Shotton, et al., 2013).

Isto repete-se até que uma folha $l(u)$ é atingida, sendo $l(u)$ a folha específica atingida pelo *pixel* u . O mesmo algoritmo é aplicado em cada *pixel*, de cada árvore t , da floresta, resultando o conjunto de folhas atingidas $L(u) = \{l_t(u)\}_{t=1}^T$. Na folha l alcançada em cada árvore t , é armazenado um modelo de previsão aprendido, que é uma distribuição de massa de probabilidade $p_l(c)$, das etiquetas das partes discretas do corpo, c . As distribuições são calculadas em conjunto, para todas as árvores, na floresta, para se obter a classificação final, através da equação (38) (Shotton, et al., 2013):

$$p(c|u) = \frac{1}{T} \sum_{l \in L(u)} p_l(c) \quad (38)$$

Cada árvore é treinada num conjunto diferente de imagens sintetizadas aleatórias, através de um algoritmo (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

O reconhecimento da parte do corpo oferece informações *per-pixel*. Esta informação deve, então, ser partilhada pelos *pixels* para gerar propostas de confiança para as posições 3D das articulações do esqueleto. Estas propostas conseguem localizar, com precisão, as posições das articulações do

corpo, a partir de uma só imagem, podendo ser utilizadas para acumular os centros globais 3D de probabilidade de massa, para cada parte, usando a profundidade calibrada conhecida. No entanto, os *pixels* afastados degradam extremamente a qualidade de tal estimativa global. Em vez disso, foi utilizada uma abordagem para encontrar a moda local, com base no deslocamento médio, utilizando um *kernel* gaussiano ponderado. Um estimador de densidade por cada parte do corpo pode ser definido pela equação (39) (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013):

$$f_c(\hat{x}) \propto \sum_{i=1}^N w_{ic} \exp \left(- \left\| \frac{\hat{x} - \hat{x}_i}{b_c} \right\|^2 \right) \quad (39)$$

Nesta equação, \hat{x} é uma coordenada no espaço do mundo tridimensional; N é o número de *pixels* da imagem; w_{ic} é um pixel de ponderação; \hat{x}_i é a reprojeção, no espaço do mundo 3D, do pixel x_i da imagem, dada a profundidade $z(u)$; b_c é uma largura de banda por parte, aprendida. A fase final consiste em mapear as hipotéticas articulações para as articulações do esqueleto, considerando a continuidade temporal e o conhecimento prévio dos dados de treino do esqueleto (Shotton, et al., 2011; Shotton, et al., 2013).

3.5.3.5. Sensor *Kinect*

O sensor *Kinect* consegue realizar uma captura num intervalo de profundidade que varia entre 82 centímetros e 400 centímetros, aproximadamente. No entanto, este intervalo pode ser alargado para variar entre valores aproximados de 70 centímetros e 600 centímetros, se alguma precisão for sacrificada. Os ângulos do campo de visão, que apresentam a forma de pirâmide, são iguais a 57°, na horizontal, e 43°, na vertical e o motor pode inclinar o sensor a 27°, para cima ou para baixo (Figura 25) (Wei, Qiao, & Lee, 2014).

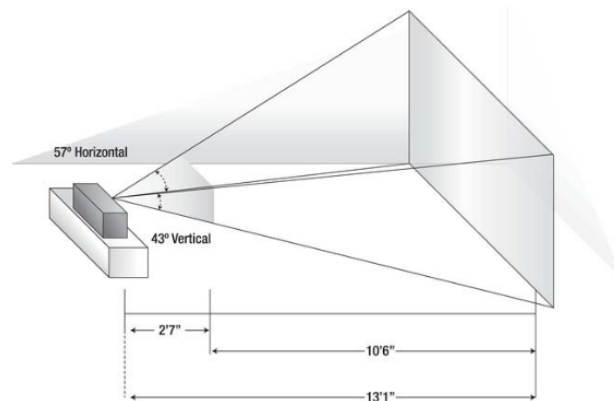


Figura 25 – Intervalo de detecção do sensor *Kinect* (Wei et al., 2014)

O *Skeleton Data* contém dados de posições 3D para esqueletos humanos. As coordenadas espaciais (x, y, z) de cada articulação são expressas em metros. O referencial é escolhido de modo a que a origem das coordenadas coincida com a localização do sensor, a parte positiva do eixo relativo a x está voltada para a esquerda do sensor *Kinect*, o eixo relativo a y orienta-se positivamente para cima, e o sentido positivo do eixo relativo a z , paralelo ao solo, coincide com aquele para o qual o sensor *Kinect* está a apontar. Assume-se que a superfície sobre a qual o sensor *Kinect* é colocado é também paralela ao chão e que a distância entre este e o sensor varia entre 50 a 100 centímetros. A área ativa disponível para se fazer a detecção de todo o corpo do utilizador tem a forma de um trapézio isósceles (Wei et al., 2014).

Sendo h a distância entre o sensor *Kinect* e o solo igual a 100 centímetros e θ_v , o ângulo do campo de visão vertical (43°), a distância mínima (D_{\min}) entre o sensor *Kinect* e o utilizador pode ser calculada pela equação (40) (Wei et al., 2014):

$$D_{\min} = \frac{h}{\tan(\theta_v/2)} \quad (40)$$

Por serem conhecidos os valores de h e de θ_v , pode ser obtida a distância mínima D_{\min} , que vai ser igual a 254 centímetros. Já a distância máxima D_{\max} é 400 centímetros. A altura do trapézio isósceles que constitui a área ativa disponível é igual a 146 centímetros, pois ela é dada pela diferença entre estas duas distâncias ($D_{\max} - D_{\min}$). Para se determinar as duas bases do mesmo trapézio, utiliza-se a equação (41) (Wei et al., 2014):

$$B = D \times \tan(\theta_h/2) \quad (41)$$

Nesta expressão, θ_h é o ângulo do campo de visão horizontal (57°) e D representa a distância mínima, D_{\min} , ou a distância máxima, D_{\max} , conforme o valor de B que se pretende calcular é o da base menor ou o da base maior, respetivamente. Os valores obtidos para estas bases são, então, 138 centímetros e 217 centímetros (Wei et al., 2014).

Como dados iniciais, o sistema recolhe os primeiros 120 *frames*, que servirão para calibrar a posição inicial do utilizador. Com eles, são calculados o ângulo inicial entre o utilizador e o sensor *Kinect*, e as coordenadas do centro inicial do esqueleto do utilizador. Sabendo-se que o sensor *Kinect* produz cerca de 30 *frames* de dados por segundo, sugere-se que o utilizador permaneça de pé cerca de quatro segundos (Wei et al., 2014).

O *Kinect Skeleton* (calibração de coordenadas) assume que todas as articulações do utilizador estão

no mesmo plano, quando o utilizador está em frente dele, e que a reta definida pelas articulações dos dois ombros é horizontal, no plano do corpo do utilizador. De acordo com os dados iniciais, ele obtém a média dos valores das coordenadas dos ombros esquerdo e direito (Wei et al., 2014).

3.6. A Reter deste Capítulo

Antes do processamento de imagem propriamente dito, é necessário capturar a imagem, na forma analógica, e convertê-la em imagem digital. A discretização envolve a amostragem espacial e a quantização dos níveis de cinza. A codificação completa a digitalização da imagem, que toma a forma de uma matriz de *pixels*. Segue-se a etapa de pré-processamento, para minimizar as degradações surgidas com a digitalização, sendo a equalização do histograma uma técnica usada nesta etapa, quando a imagem apresenta baixo contraste.

A técnica básica de algoritmos de processamento digital de imagem é a convolução de duas funções, sendo uma delas a imagem a ser tratada, e a outra uma máscara.

Para a remoção de ruído e atenuação dos contornos, utilizam-se filtros passa-baixo, quer no domínio espacial quer no domínio da frequência. A transformada de Fourier permite passar do domínio do espaço para o da frequência, onde é possível obter soluções fáceis, que de outro modo seriam difíceis de conseguir. Para isso contribui o teorema da convolução.

Da etapa de segmentação, mereceram referência a técnica de limiarização, o crescimento de regiões e a detecção de bordas, que utiliza filtros passa-alto, no domínio espacial e no domínio da frequência.

A extração de características consiste em representar e descrever cada região numa forma que permita o processamento computacional. Duas técnicas que o permitem fazer são o código em cadeia e a aproximação poligonal.

As técnicas utilizadas na etapa do reconhecimento de padrões, onde é fundamental o conceito de *machine learning*, baseiam-se em métodos de decisão teórica, como é o caso do classificador de distância mínima, ou em métodos de decisão estrutural, de que é exemplo o *string matching*.

Com o sensor *Kinect* é possível prever, rapidamente e com precisão, as posições 3D das articulações do corpo humano. Características de comparação de profundidade, combinadas com uma floresta de decisão, são suficientes para desfazer, com precisão, ambiguidades de diferentes aparências e regiões do corpo.

Capítulo 4

DESENVOLVIMENTO PRELIMINAR

Este capítulo apresenta a dinâmica dos exercícios fisioterapêuticos que foram escolhidos para serem adaptados a situações de jogo eletrônico, bem como os algoritmos desenvolvidos para a sua monitorização, o que serviu de base ao desenvolvimento do jogo *Physioland*.

4.1. Exercícios Fisioterapêuticos

Foi objetivo geral deste projeto desenvolver um jogo sério, baseado em técnicas de processamento de imagem, para motivar e monitorizar a prática de fisioterapia de pacientes com doenças neurológicas.

Após uma análise efetuada juntamente com os profissionais de saúde, escolheram-se seis exercícios interessantes do ponto de vista tecnológico e fisioterapêutico, e com dinâmicas diferentes. Estes exercícios devem estar preparados para ser executados em doentes com ou sem equilíbrio, e com ou sem apoio.

Passaram, assim, a fazer parte da bateria de exercícios do jogo, os seis seguintes: abdução/adução da articulação glenoumeral (AAGU), flexão/extensão da articulação glenoumeral (FEGU), flexão/extensão da articulação radioumeral (FERU), abdução/adução da articulação coxofemoral (AACF), movimento cruzado (MCr) e roldanas (Rol).

A abdução da articulação glenoumeral pode ser definida como o movimento que ocorre no plano frontal, em torno de um eixo horizontal dirigido dorsoventralmente, e que afasta o braço da linha média do corpo. A adução da articulação glenoumeral é o movimento em sentido contrário ao da abdução, isto é, realiza-se no mesmo plano frontal, em torno do mesmo eixo, mas aproxima o braço da linha média do corpo (Figura 26) (Sharkey, 2008).

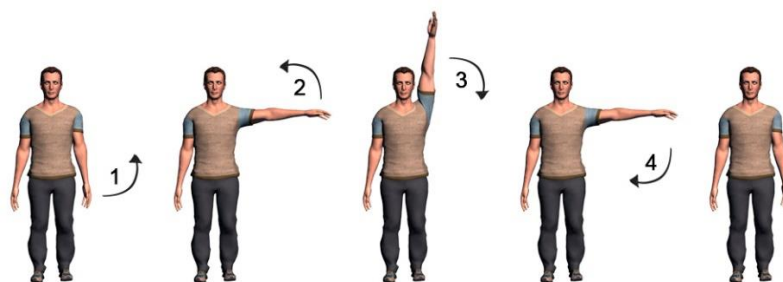


Figura 26 – Abdução/adução da articulação glenoumeral

A flexão da articulação glenoumeral ocorre no plano sagital, sendo realizada para a frente e para cima, em torno de um eixo transversal (lâtero-lateral); o movimento no mesmo plano, mas em sentido contrário, representando o retorno desta flexão, é chamado extensão da articulação glenoumeral (Figura 27) (Sharkey, 2008).

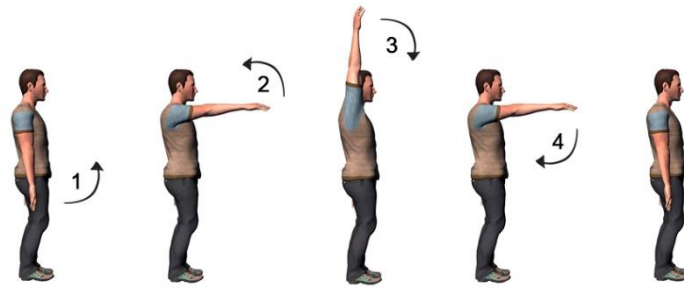


Figura 27 – Flexão/extensão da articulação glenoumeral

A flexão da articulação radioumeral ocorre no plano frontal e consiste no movimento do braço em direção ao ombro, o que se traduz numa diminuição do ângulo braço-antebraço. Em sentido contrário é realizada a extensão da articulação radioumeral, que proporciona, um crescimento do mesmo ângulo, uma vez que o braço se vai afastando do ombro (Figura 28) (Sharkey, 2008).

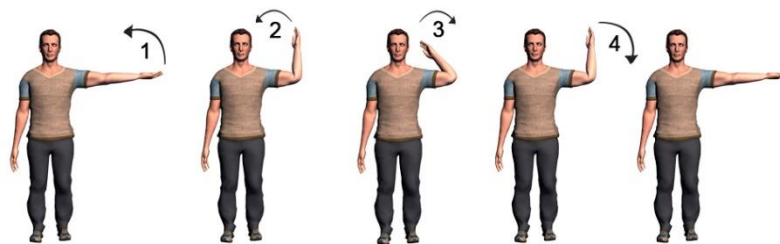


Figura 28 – Flexão/extensão da articulação radioumeral

A abdução da articulação coxofemoral é realizada no plano frontal, em torno de um eixo horizontal no sentido anteroposterior, e consiste na elevação lateral da perna, isto é, esta afasta-se da linha média do corpo. Tal como já acontecia com a articulação glenoumeral, também para a articulação coxofemoral, o movimento de retorno da abdução, que aproxima a perna da linha média do corpo, é denominado adução da articulação coxofemoral (Figura 29) (Sharkey, 2008).



Figura 29 – Abdução/adução da articulação coxofemoral

O movimento cruzado é um movimento diagonal, em que cada braço se move alternadamente para a frente e para cima ou para baixo, tentando alcançar um alvo que aparece no lado oposto, colocado

aleatoriamente pelo fisioterapeuta (Figura 30).



Figura 30 – Movimento cruzado

O exercício que utiliza as roldanas consiste num movimento combinado de abdução/adução glenoumeral e flexão/extensão radioumeral e, por isso, é realizado no plano frontal (Figura 31).



Figura 31 – Roldanas

4.2. Software de Monitorização de Exercícios Fisioterapêuticos

Antes de se iniciar o desenvolvimento do jogo propriamente dito, houve necessidade de criar algoritmos específicos para a monitorização dos exercícios escolhidos, o que surgiu na forma de uma aplicação baseada em técnicas de processamento de imagem clássicas, abordadas no capítulo 3.

Para o desenvolvimento da referida aplicação, utilizou-se a linguagem C++, recorrendo a uma biblioteca *open-source* de visão por computador, amplamente utilizada e validada para eficiência computacional, e com um forte foco em aplicações de tempo real, o OpenCV (Bradski & Kaehler, 2008).

O sistema de monitorização, inicialmente constituído apenas por uma câmara convencional, com um sensor CMOS e um filtro de Bayer, mostrou-se rapidamente ineficiente para o objetivo proposto. Dada a natureza do projeto e as características do sensor de captura de imagem, percebeu-se que seriam necessárias três câmaras idênticas para fazer a monitorização dos exercícios fisioterapêuticos nos planos pretendidos (frontal e sagital). Assim, o sistema idealizado foi o que se encontra representado na Figura 32, que contempla um ecrã de visualização e três câmaras convencionais, localizadas uma de cada lado do paciente e outra de frente.

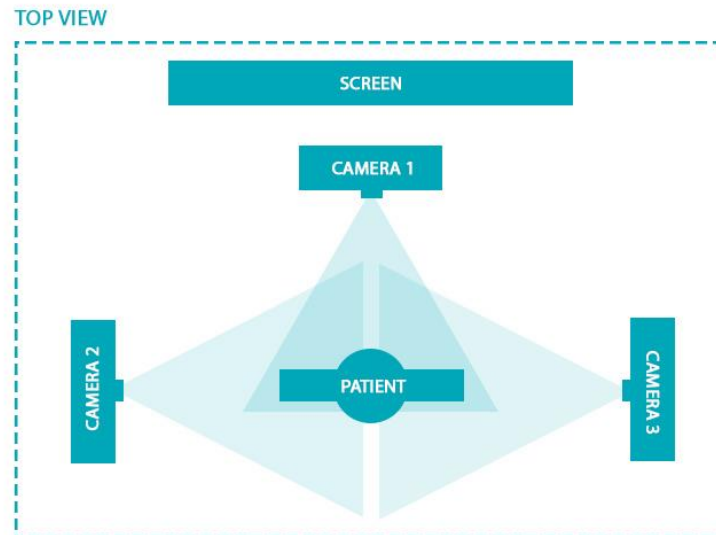


Figura 32 – Sistema de monitorização de exercícios fisioterapêuticos baseado em três câmaras convencionais.

A câmara de frente permitiria a monitorização dos exercícios fisioterapêuticos executados no plano frontal, bem como a verificação das compensações laterais e os alinhamentos no plano sagital. As restantes câmaras possibilitariam monitorizar os exercícios de fisioterapia executados no plano sagital, verificar as compensações para a frente e para trás e verificar os alinhamentos no plano frontal.

Sendo fundamental a deteção das articulações dos pacientes, baseada em técnicas de processamento de imagem, através de câmaras com sensores 2D, tornou-se necessário colocar marcadores com uma cor específica, no lugar das mesmas e noutros locais que se consideraram relevantes para a monitorização.

4.2.1. PROCESSO DE MONITORIZAÇÃO DAS ARTICULAÇÕES DO CORPO HUMANO

O processo de monitorização das articulações do corpo humano (Figura 33) começa pela captação de uma imagem a um paciente, com alguns marcadores colocados no corpo, nomeadamente, nas articulações e noutros locais específicos. O *software* permite a escolha da cor do marcador a utilizar, assim como a sua forma. Estas informações são guardadas para serem utilizadas posteriormente.

Na monitorização dos exercícios efetuados pelos pacientes, cada imagem é pré-processada com filtros passa-baixo, para suavizar e melhorar a imagem, para evitar que alguns erros transitem para a fase seguinte. Estas imagens são convertidas do espaço de cor RGB para HSV e, a partir destas imagens, são criadas novas imagens binárias, como resultado da técnica de *thresholding*. Com base

na cor selecionada para o marcador, definem-se limiares para os níveis cor e preenchem-se as novas imagens, com *pixels* pretos para os valores fora desses limiares, e a branco para os restantes. A estas novas imagens são aplicados filtros passa-baixo, para se eliminar ruídos, suavizando as imagens.

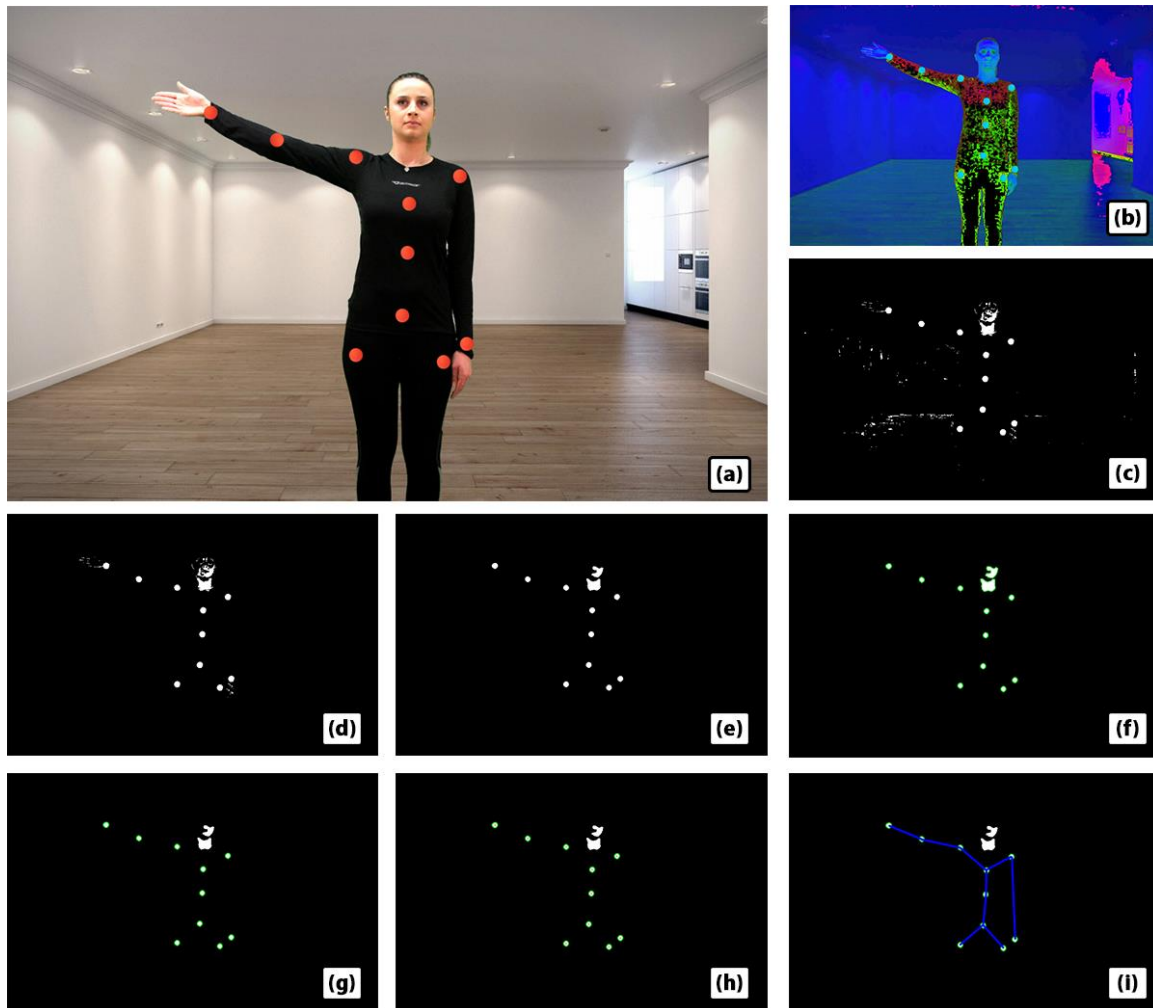


Figura 33 – Processo de detecção dos marcadores que definem as articulações e outros locais de interesse: (a) Pré-processamento da imagem; (b) Conversão RGB para HSV; (c) *Thresholding*; (d) e (e) Aplicação de filtros passa-baixo; (f) Detecção de bordas e extração de características; (g) Reconhecimento de padrões; (h) Detecção do centro de massa de cada região de interesse; (i) Construção do esqueleto humano baseado no centro de massa de cada região de interesse.

O próximo procedimento consiste em detetar os contornos das regiões existentes e verificar se os mesmos são equivalentes ao do marcador padrão que foi armazenado no início do processo. Cada região em que se verifique esta equivalência é detetada como um marcador, sendo calculado o seu centro de massa. Este centro de massa assume-se como sendo a localização da respetiva articulação ou ponto específico do esqueleto humano. A localização de cada centro de massa,

relativamente aos restantes, identifica facilmente a articulação ou ponto específico que lhe corresponde, podendo, assim, traçar-se um esquema do esqueleto. As regiões que não forem detetadas como um marcador são ignoradas. Para se detetar se uma articulação está em alinhamento com outra, num determinado plano, comparam-se as áreas correspondentes aos marcadores dessas articulações. Caso não estejam alinhadas, a que está mais próxima da câmara de monitorização terá uma área maior.

O desenvolvimento desta aplicação parou numa fase preliminar. De facto, foram várias as tentativas, baseadas nas técnicas descritas no capítulo anterior, para monitorizar, de forma consistente, um exercício fisioterapêutico, no entanto, não foi possível ultrapassar alguns problemas que foram surgindo, ao longo do tempo. O sistema era invasivo, no sentido em que era necessário colocar, no corpo do paciente, marcadores que, por vezes, acabavam por cair. A reflexão da luz, nos mesmos, durante a execução do exercício, variava, o que levava a que o sistema deixasse de os detetar. Quando se está num ambiente não controlado (com objetos, mobiliário, entre outros elementos), o sistema pode confundir formas com a dos marcadores, sendo induzido em erro.

Sabendo que os ambientes clínicos nem sempre são controláveis, verificou-se que esta abordagem de utilização de câmaras convencionais, combinadas com técnicas de processamento de imagem tradicionais, não seria a mais indicada para o projeto em causa.

4.3. Aplicação *PhysioSoft*

Dados os problemas encontrados no decorrer do desenvolvimento do *software* anterior, por motivos já explicados, optou-se por desenvolver um novo *software* para a monitorização dos exercícios fisioterapêuticos, baseado em técnicas de processamento de imagem de profundidade, também elas explicadas no capítulo anterior. Pretendeu-se tornar a monitorização simples, amigável e não invasiva, pelo que não foram considerados sensores ou marcadores colocados no corpo do paciente. Pode dizer-se que os algoritmos desenvolvidos nesta nova aplicação, que foi denominada *PhysioSoft*, são o *core* do presente projeto de investigação.

Em função dos requisitos mencionados, pensou-se num sistema de monitorização de movimentos, única e exclusivamente baseado em processamento de imagem, preferencialmente utilizando um só dispositivo de captura de imagem, para não dificultar o processo de instalação/calibração em ambiente real.

A partir do ano 2010, começaram a surgir, no mercado, câmaras com sensores de profundidade de

baixo custo, embora a oferta neste campo ainda fosse muito escassa, relativamente aos dias de hoje. Como um dispositivo deste tipo, baseado num sensor 3D, poderia facilitar o processo de *motion tracking*, optou-se, de imediato, por um deles, em lugar de um sistema baseado apenas num sensor 2D.

Realizou-se uma pesquisa de dispositivos comerciais para aquisição de imagem, tendo em conta o tipo de sensor utilizado, as bibliotecas disponíveis para facilitar o processo de *motion tracking*, o ambiente de aplicação e o custo. A *Kinect*, um dispositivo de baixo custo com um sensor 3D (baseado num sensor CMOS e num sensor de profundidade) e com um *kit* de desenvolvimento do *software* (*SDK*) para Windows, foi selecionada para a aquisição da imagem.

Além do *kit* oficial, existem *SDK* alternativos para serem utilizados com o sensor *Kinect*, como é o caso do OpenNI, um *kit* de desenvolvimento de *software open-source* para ambientes de interfaces naturais.

4.3.1. DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO

A aplicação foi escrita em C# (.NET Framework 4.5), utilizando o *SDK* oficial da *Microsoft* para a *Kinect*. A arquitetura da aplicação baseia-se num sistema de informação e calibração do indivíduo, na monitorização dos exercícios fisioterapêuticos e no registo dos valores obtidos (Figura 34) (Martins et al., 2013a; Martins, Carvalho, & Soares, 2013c).

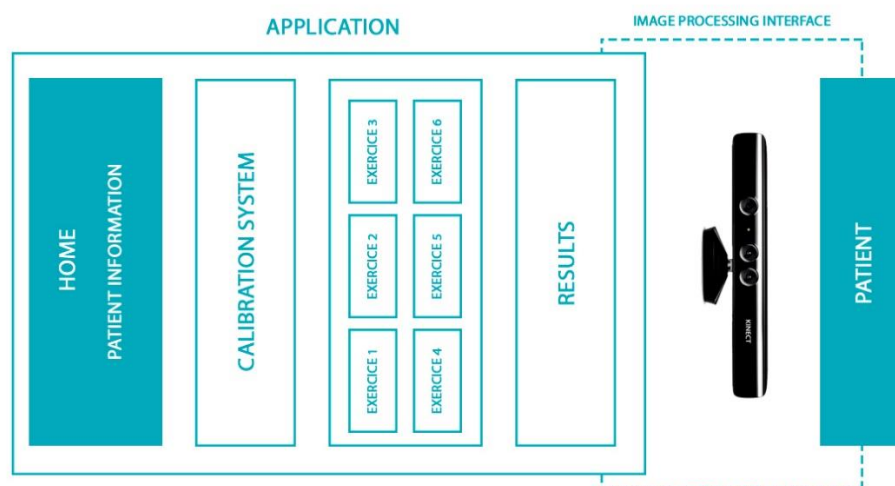


Figura 34 – Arquitetura lógica do *PhysioSoft*

Na etapa da calibração, o paciente deve colocar-se, durante um determinado período de tempo, numa posição *standard*, para que o sistema o detete (Martins et al., 2013a).

Na secção da monitorização de cada exercício, o utilizador pode escolher o membro que quer monitorizar. A monitorização de cada exercício começa sempre com a deteção da postura *standard*. Neste momento, a aplicação começa a monitorizar o movimento do indivíduo, armazenando os valores da velocidade, da aceleração, do perímetro do arco descrito e dos ângulos formados pelos ossos monitorizados em cada exercício (Figura 35). O processo repete-se até terminar o exercício. Quando um indivíduo está colocado numa posição incorreta, por exemplo, com compensações e desalinhamentos, ou ângulos fora dos valores desejados, a aplicação emite um alerta sonoro, para o indivíduo corrigir a sua postura (Martins et al., 2013a; Martins et al., 2013c).



Figura 35 – Screenshots do *PhysioSoft*

No final, a equipa de investigação pode aceder a todos os dados recolhidos, escritos num ficheiro XML, cruzar essa informação e traçar gráficos (Martins et al., 2013a).

4.3.2. MONITORIZAÇÃO DOS EXERCÍCIOS FISIOTERAPÊUTICOS

Ao longo do processo de pesquisa e depois de ter participado em diversas sessões de fisioterapia acompanhadas por profissionais de reabilitação física, a equipa de investigação percebeu que, na técnica de execução de cada exercício, há quatro características principais para detetar se o mesmo é corretamente executado: ângulos definidos por diferentes segmentos do corpo, alinhamento, compensação e velocidade (Martins, Carvalho, & Soares, 2016a).

Relativamente aos ângulos, os valores ideais são específicos de cada exercício. Sendo A, B, e C três articulações, com as suas coordenadas é possível definir dois vetores \vec{v}_1 e \vec{v}_2 , de acordo com as equações (42) e (43):

$$\vec{v}_1 = \overrightarrow{BA} = A - B \quad (42)$$

$$\vec{v}_2 = \overrightarrow{BC} = C - B \quad (43)$$

A amplitude θ do ângulo dos dois vetores é dada pela equação (44):

$$\theta = \cos^{-1} \frac{\overrightarrow{BA} \cdot \overrightarrow{BC}}{\|\overrightarrow{BA}\| \times \|\overrightarrow{BC}\|} \quad (44)$$

O alinhamento, salvo raras exceções, requer que algumas articulações estejam alinhadas umas com as outras no plano de execução do exercício (Figura 36). É necessário comparar as coordenadas das articulações envolvidas, relativas a um determinado eixo. Sendo h esse eixo, e A e B duas quaisquer articulações, a referida comparação será feita determinando o módulo da diferença entre as coordenadas de A e de B, relativas a h , ou seja, calculando o valor da seguinte expressão (45):

$$|h_A - h_B| \quad (45)$$

Depois de feitas as comparações duas a duas, regista-se o maior dos valores obtidos. Idealmente, para que o alinhamento esteja correto, este valor deve ficar tão próximo de 0 (zero) quanto possível, o que significa que as coordenadas de todas as articulações comparadas, relativas ao eixo considerado, estão relativamente próximas umas das outras, o que simbolicamente se traduz pela expressão (46):

$$h_A \cong h_B \quad (46)$$

A compensação refere-se, principalmente, à inclinação do corpo para a direita ou para a esquerda (lateral), para a frente ou para trás. O procedimento para verificar se há ou não compensação (Figura 36) é o mesmo que foi descrito para o alinhamento. Pode acontecer que as articulações envolvidas sejam outras, e que seja também diferente o eixo a considerar.

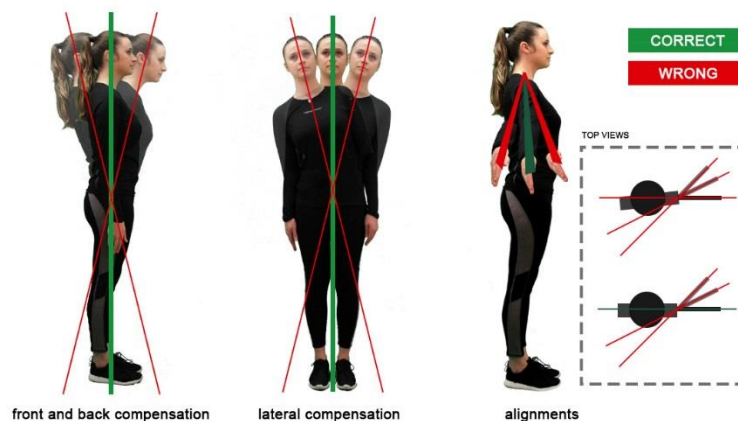


Figura 36 – Alinhamentos e compensações, corretos e errados

A velocidade angular média, ω , de execução de um exercício, em radianos por segundo, num

intervalo de tempo Δt , em segundos, no qual o ângulo descrito por um segmento do corpo sofre uma variação $\Delta\theta$, em radianos, é dada pela equação (47). Ela deve manter-se sensivelmente constante, durante a realização dos exercícios, o que corresponde a uma aceleração média aproximadamente igual a zero. Esta aceleração, γ , expressa em radianos por segundo ao quadrado, é obtida pela equação (48), na qual $\Delta\omega$ representa a variação da velocidade angular média, no intervalo de tempo Δt (Martins et al., 2016a).

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \quad (47)$$

$$\gamma = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (48)$$

Estas equações serão utilizadas para determinar a velocidade e aceleração da execução de cada exercício, pelo que não se voltará a fazer referência a estes parâmetros, quando se descrever o método de monitorização que a ele diz respeito. Uma exceção é o movimento cruzado, relativamente ao qual, por ser um movimento livre, apenas se monitoriza a compensação.

4.3.2.1. Abdução/Adução da Articulação Glenoumeral

Relativamente à técnica de execução, este exercício deve ser executado com o braço estendido, isto é, a amplitude do ângulo braço-antebraço deve ser igual a 180° . Por sua vez, o ângulo formado pelo membro superior e pela linha média do corpo deve variar entre 0° e 180° . As articulações devem estar alinhadas no plano frontal que, como já antes foi referido, é o plano de execução deste exercício. Para que não haja nenhuma compensação, as articulações devem estar alinhadas na horizontal e na vertical (Figura 37).

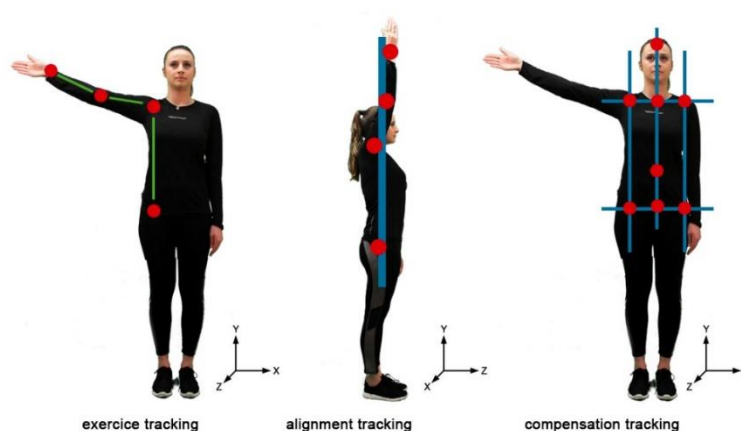


Figura 37 – Execução, alinhamento e compensação da abdução/adução da articulação glenoumeral

Para fazer o *motion tracking* deste exercício, procedeu-se à deteção das articulações do corpo e à determinação das respetivas coordenadas, x , y e z , através do método descrito no ponto anterior. No caso específico deste exercício, interessa verificar se o ângulo braço-antebraço e o ângulo braço-linha média do corpo se encontram dentro dos valores esperados. Assim, para se determinar o ângulo braço-antebraço, as articulações intervenientes são: pulso (W), cotovelo (E) e ombro (S). Com as coordenadas destas articulações determinam-se os vetores $\vec{v}_1 = \overrightarrow{EW}$ e $\vec{v}_2 = \overrightarrow{ES}$, através das equações (42) e (43), respetivamente, sendo o ângulo dos dois vetores dado pela equação (44). O mesmo processo é utilizado para determinar o ângulo braço-linha média do corpo, considerando as coordenadas das articulações do cotovelo (E), do ombro (S) e da anca (H).

Para verificar se o paciente está a executar o exercício com as articulações alinhadas, recorre-se às coordenadas, relativas a z , de ambas as ancas (Hr e Hl), de ambos os ombros (Sr e Sl), do cotovelo (E) e do pulso (W), apenas do lado que está a ser exercitado. Estas coordenadas devem ter diferenças mínimas entre elas, em módulo. Com a utilização da expressão (49), é possível comparar, duas a duas, as referidas coordenadas das articulações envolvidas, o que permite conhecer o valor máximo que dela resulta (expressão (50)):

$$\max\{|z_{Hr} - z_{Hl}|, |z_{Hr} - z_{Sr}|, |z_{Hr} - z_{Sl}|, \dots, |z_E - z_W|\} \quad (49)$$

Este valor máximo deve encontrar-se, tanto quanto possível, perto de zero, o que significará coordenadas aproximadamente iguais, de acordo com a expressão (51):

$$z_{Hr} \cong z_{Hl} \cong z_{Sr} \cong z_{Sl} \cong z_E \cong z_W \quad (50)$$

O mesmo procedimento é utilizado para detetar a compensação para trás ou para a frente, sendo monitorizadas, neste caso, as articulações *head* (Hd), *shoulder center* (Sc), *spine* (Sp) e *hip center* (Hc). Neste caso, depois de cálculos semelhantes aos que foram feitos para o alinhamento, tendo em conta a expressão (50), deverá verificar-se a expressão (52):

$$z_{Hd} \cong z_{Sc} \cong z_{Sp} \cong z_{Hc} \quad (51)$$

Quanto à compensação lateral, repete-se o processo que tem vindo a ser utilizado, para monitorizar, de novo, as mesmas articulações envolvidas na compensação para trás ou para a frente, mas considerando, agora, as coordenadas relativas a y . As diferenças entre estas coordenadas devem ser mínimas, o que significa que, considerando, mais uma vez, a expressão (50), deverá acontecer (expressão (53)):

$$y_{Hd} \cong y_{Sc} \cong y_{Sp} \cong y_{Hc} \quad (52)$$

Sendo θ o ângulo braço-linha média do corpo, a velocidade angular média de execução do exercício, em cada iteração, é calculada utilizando a fórmula da velocidade angular, apresentada na equação (47). Com a equação (48), calcula-se a aceleração angular média, em cada iteração.

4.3.2.2. Flexão/Extensão da Articulação Glenoumeral

Este exercício só difere do anterior no plano em que é executado, que deixa de ser o plano frontal para passar a ser o plano sagital. As articulações envolvidas e os ângulos monitorizados são exatamente os mesmos, podendo ser determinados pelas mesmas equações (Figura 38).

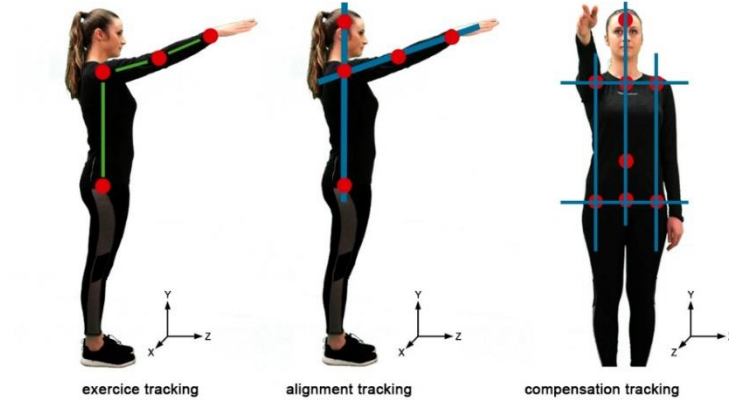


Figura 38 – Execução, alinhamento e compensação da flexão/extensão da articulação glenoumeral

A verificação da compensação segue, também, o mesmo procedimento do exercício anterior, mas o alinhamento sofre alterações, em consequência da mudança de plano de execução do exercício. Assim, é necessária a verificação do alinhamento, tanto no plano frontal, como no plano sagital. As coordenadas das articulações de ambas as ancas (Hr e Hl) e de ambos os ombros (Sr e Sl) devem estar alinhadas relativamente a z . Contudo, as articulações do membro que está a ser exercitado, cotovelo (E), pulso (W) e também ombro ($S = Sr$ ou $S = Sl$), devem estar alinhadas relativamente a x . Por outras palavras, tomando como base a expressão (50), deverão verificar-se as seguintes relações (53) e (54):

$$z_{Hr} \cong z_{Hl} \cong z_{Sr} \cong z_{Sl} \quad (53)$$

$$x_E \cong x_W \cong x_S \quad (54)$$

4.3.2.3. Flexão/extensão da articulação radioumeral

Em relação à flexão/extensão da articulação radioumeral, teoricamente o ângulo formado pelo braço e pela linha média do corpo deve manter-se igual a 90° , durante todo o exercício. O ângulo braço-antebraço deverá decrescer de 180° até, aproximadamente, 30° . O corpo deve permanecer alinhado como no exercício da abdução/adução da articulação glenoumeral, porque, tal como este, é executado no plano frontal (Figura 39).

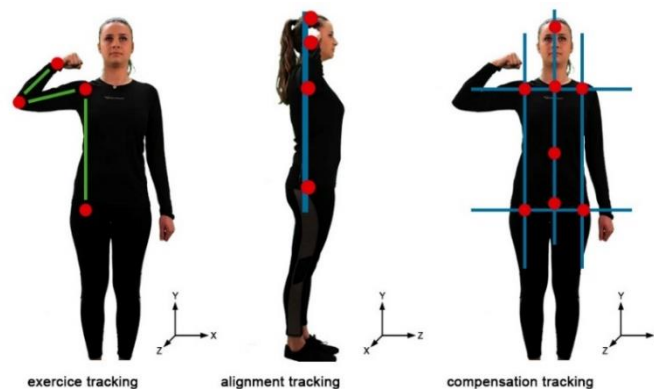


Figura 39 – Execução, alinhamento e compensação da flexão/extensão da articulação radioumeral

Observe-se que as articulações envolvidas neste exercício e o plano de execução do mesmo são exatamente iguais aos do exercício da abdução/adução da articulação glenoumeral. Assim, o procedimento para a monitorização da determinação dos ângulos, a verificação dos alinhamentos, e das compensações, é o mesmo para ambos os exercícios. O único aspeto que difere de um para o outro é a técnica da execução.

4.3.2.4. Abdução/adução da articulação coxofemoral

A abdução/adução da articulação coxofemoral é o movimento fisioterapêutico para exercitar os membros inferiores (Figura 40). A sua execução ocorre no plano frontal, mantendo esticado o membro inferior que está a realizar o exercício, ou seja, o ângulo coxa-perna deverá ser igual a 180° , durante a execução do movimento. As articulações cujas coordenadas são necessárias para se determinar este ângulo são: *hip*, *knee* e *ankle* do membro a monitorizar. O ângulo coxa-linha média do corpo deverá variar entre 0° e 30° , aproximadamente, exigindo a sua determinação, o conhecimento das coordenadas das articulações *hip right*, *hip left*, e *knee* do membro em execução. Assumindo-se que, teoricamente, estando o utilizador em repouso, o ângulo definido por estas articulações, é igual a 90° , então ele deve variar entre 90° e 120° , o que corresponde ao ângulo coxa-linha média do corpo entre 0° e 30° .

A verificação da compensação deste exercício segue os mesmos procedimentos anteriores. Como o exercício é executado no plano frontal, as articulações monitorizadas devem estar alinhadas neste plano, ou seja, as coordenadas relativas a z devem ter diferenças mínimas. Neste caso as articulações envolvidas são: *ankle*, *knee*, *hip*, *shoulder*, de ambos os lados e *head*.

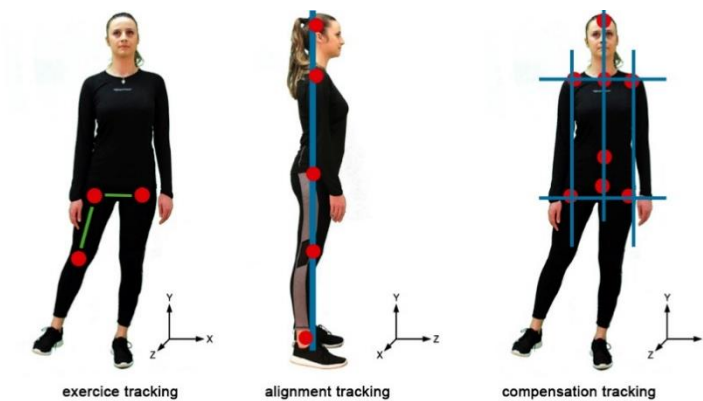


Figura 40 – Execução, alinhamento e compensação da abdução/adução da articulação coxofemoral

4.3.2.5. Movimento Cruzado

Relembrando o que foi dito quando se fez a descrição deste exercício, existe uma aleatoriedade associada à colocação do alvo que o paciente deve tentar alcançar, o que proporciona uma grande liberdade de movimentos (Figura 41). Nestas condições não há ângulos que tomem valores predefinidos, embora todas as articulações envolvidas (*shoulder*, *wrist* e *elbow*), de ambos os lados, sejam monitorizadas. Não faz sentido falar em alinhamentos devido à grande flexibilidade de movimentos que este exercício possibilita. Também a velocidade e a aceleração da execução deste exercício não são monitorizadas, devido à peculiaridade do mesmo. Por conseguinte, só a compensação é monitorizada, sendo-o à semelhança dos restantes exercícios.

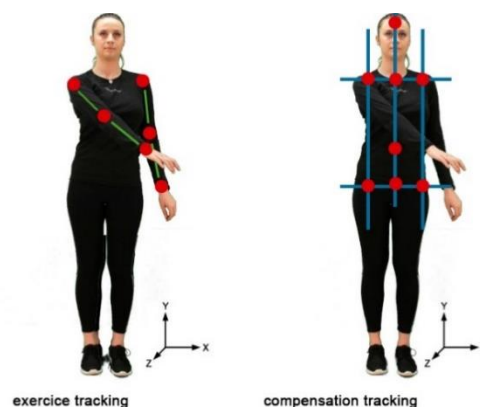


Figura 41 – Execução e compensação do movimento cruzado

4.3.2.6. Roldanas

Para a execução das roldanas (Figura 42), o paciente utiliza um sistema baseado numa corda que passa através de duas roldanas fixas numa estrutura, o que o força a executar uma combinação de abdução/adução da articulação glenoumeral e de flexão/extensão da articulação radioumeral. As técnicas utilizadas para monitorizar este exercício são um misto das que foram utilizadas especificamente para cada um dos que o compõem, no que respeita, à determinação dos ângulos, verificação dos alinhamentos e às compensações. De referir, no entanto, uma especificidade deste exercício: os ângulos formados pelo braço e pela linha média do corpo, de um lado e do outro, devem ser suplementares, ou seja, a soma deles deve ser igual a 180° .

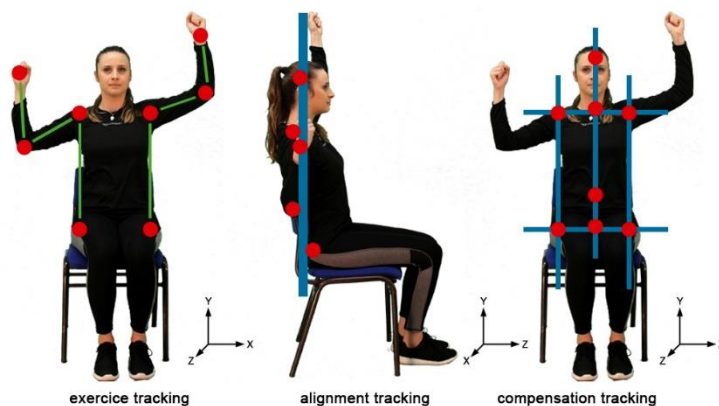


Figura 42 – Execução, alinhamento e compensação das roldanas

4.3.3. OBSERVAÇÕES

Ao longo da descrição das técnicas utilizadas para monitorizar os movimentos fisioterapêuticos, foram sendo referidos vários valores concretos. No entanto, correspondem a valores teóricos, uma vez que a anatomia humana não permite encontrar um corpo completamente alinhado e sem compensações, por muito ligeiras que sejam. Pode observar-se que todas as imagens utilizadas durante a descrição das técnicas de monitorização dos movimentos são fotografias reais de uma pessoa saudável, que se prestou para fazer os exercícios, de forma correta. Pode reparar-se que a compensação, o alinhamento e os ângulos efetivamente formados não coincidem com os valores teóricos pretendidos (Martins, Carvalho, & Soares, 2015a).

Por outro lado, os valores reais, medidos com um goniómetro, e os valores obtidos pelo sistema também divergem. Assim, houve necessidade de se proceder a leituras reais, feitas por um e por outro. Estas leituras incidiram em dez pessoas saudáveis, com estaturas diferentes, e em poses

distintas (sentadas ou de pé), mas no mesmo ambiente. No caso do sistema, para cada pessoa, foram feitas dez leituras, cinco em cada posição, referentes a cada ângulo e em cada um dos planos de execução dos exercícios. Para os testes efetuados, utilizou-se um sensor *Microsoft Kinect* colocado a 60 centímetros de altura, em relação ao chão, e o paciente posicionado a 2,5 metros de distância do mesmo.

Calculou-se a média dos valores obtidos para cada pessoa e, em seguida determinou-se a média dessas médias, para obter o valor de referência de cada ângulo, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Valores teóricos e valores lidos dos ângulos monitorizados

ID	BA-PF		BLM-PF		BA-PS		BLM-PS		PAA-PF		PC-PF	
	G(°)	S(°)	G(°)	S(°)	G(°)	S(°)	G(°)	S(°)	G(°)	S(°)	G(°)	S(°)
1	180	174	90	92	180	171	90	90	90	98	180	171
2		169		88		168		87		99		172
3		172		91		174		89		97		174
4		174		91		173		90		101		169
5		170		92		172		89		98		172
6		174		90		174		89		102		168
7		172		92		174		90		98		172
8		173		89		172		88		99		174
9		168		89		170		87		101		171
10		172		91		174		90		98		172
AVG		172		91		172		89		99		172

Legenda: BA-PF – Ângulo braço-antebraço no plano frontal; BLM-PF – Ângulo braço-linha média do corpo no plano frontal; BA-PS – Ângulo braço-antebraço no plano sagital; BLM-PS – Ângulo braço-linha média do corpo no plano sagital; PAA-PF – Ângulo perna-ancas no plano frontal; PC-PF – Ângulo perna-coxa no plano frontal; S – Sistema; ID – Identificação da Pessoa; G – Goniómetro, AVG – Média.

Pediu-se também, às mesmas dez pessoas, para executarem os exercícios das abduções/aduções e flexões/extensões, no sentido de se efetuarem leituras relativas aos valores mínimos e máximos dos ângulos monitorizados, obtidos por cada uma delas (Tabela 2-Tabela 5). Estes valores foram utilizados para o mapeamento dos intervalos de valores obtidos, nos valores teóricos e também para definir intervalos de erros.

Tabela 2 – Valores teóricos e valores lidos máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (AAGU)

Abdução/Adução da Articulação Glenoumeral								
ID	Ângulo Braço-Antebraço				Ângulo Braço-Linha Média do Corpo			
	Mínimo		Máximo		Mínimo		Máximo	
	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)
1	180	153	180	172	0	15	180	145
2		151		170		14		149
3		154		171		13		148
4		151		172		16		152
5		162		174		14		149
6		154		172		15		153
7		158		171		14		148
8		153		173		16		148
9		151		169		15		152
10		163		172		17		152
AVG		155		172		15		150

Legenda: VT – Valores teóricos; VL – Valores lidos; ID – Identificação da Pessoa; AVG – Média.

Tabela 3– Valores teóricos e valores lidos máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (FEGU)

Flexão/Extensão da Articulação Glenoumeral								
ID	Ângulo Braço-Antebraço				Ângulo Braço-Linha Média do Corpo			
	Mínimo		Máximo		Mínimo		Máximo	
	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)
1	180	130	180	172	0	18	180	156
2		125		171		17		149
3		137		172		14		150
4		134		171		14		148
5		136		174		15		152
6		128		170		14		152
7		135		173		16		148
8		134		173		14		151
9		128		168		15		153
10		131		171		16		149
AVG		132		172		15		151

Legenda: VT – Valores teóricos; VL – Valores lidos; ID – Identificação da Pessoa; AVG – Média.

Tabela 4– Valores teóricos e valores lidos máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (FERU)

Flexão/Extensão da Articulação Radioumeral								
ID	Ângulo Braço-Antebraço				Ângulo Braço-Linha Média do Corpo			
	Mínimo		Máximo		Mínimo		Máximo	
	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)
1	30	35	180	172	90	89	90	92
2		33		170		89		94
3		34		171		88		93
4		37		171		90		95
5		34		173		89		92
6		37		171		87		93
7		36		172		88		92
8		36		171		89		94
9		35		170		89		92
10		34		174		90		94
AVG		35		172		89		93

Legenda: VT – Valores teóricos; VL – Valores lidos; ID – Identificação da Pessoa; AVG – Média.

Tabela 5– Valores teóricos e valores lidos máximos e mínimos dos ângulos monitorizados (AACF)

Abdução/Adução da Articulação Coxofemoral								
ID	Ângulo Perna-Ancas				Ângulo Perna-Coxa			
	Mínimo		Máximo		Mínimo		Máximo	
	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)	VT(°)	VL(°)
1	90	98	120	132	180	163	180	168
2		100		135		165		171
3		99		140		163		174
4		101		138		164		168
5		97		136		166		171
6		99		141		168		169
7		102		138		163		170
8		99		137		167		167
9		98		132		166		169
10		98		134		165		173
AVG		99		136		165		170

Legenda: VT – Valores teóricos; VL – Valores lidos; ID – Identificação da Pessoa; AVG – Média.

Por todos os motivos apresentados foi necessário ajustar os valores teóricos aos valores reais, através de mapeamento, *thresholding*, entre outras técnicas.

Para otimizar a monitorização da execução de cada exercício, os valores utilizados para a determinação das variáveis consideradas, são o resultado da média de dez leituras consecutivas,

numa unidade de tempo, correspondente ao ciclo do processador.

Se se reparar, o alinhamento das articulações dos membros inferiores só é monitorizado no exercício da abdução/adução da articulação coxofemoral. Teoricamente, poder-se-ia monitorizar o alinhamento destas articulações nos demais exercícios, contudo, uma vez que estes podem ser executados com o utilizador sentado, não faria sentido estar a monitorizá-los.

4.3.4. RESULTADOS

O processo de criação dos algoritmos para a monitorização dos movimentos fisioterapêuticos foi alvo de melhorias durante toda a fase de investigação. Diversos testes foram efetuados em ambiente de laboratório, e em ambiente clínico, com ajustes sucessivos até se conseguir um produto adaptado aos objetivos deste trabalho. Por vezes, houve necessidade de sacrificar a monitorização rígida da *performance* dos exercícios em prol do conforto do paciente e da sua interação com o sistema, uma vez que os algoritmos desenvolvidos para o *PhysioSoft* tinham como objetivo serem suporte de um jogo de motivação do paciente para a prática de fisioterapia. Não se deve confundir este *software* com outro direcionado para a medição de *performance* de exercícios fisioterapêuticos. Trata-se de uma ferramenta para os investigadores testarem, de uma forma mais confortável, os algoritmos de monitorização de exercícios fisioterapêuticos a serem utilizados no jogo.

Embora tenha sido sempre utilizado paralelamente com o desenvolvimento do jogo, o *PhysioSoft* nunca chegou a uma fase final, visto que, como foi dito anteriormente, não era esse o seu objetivo. Contudo, chegou a ser alvo de um estudo científico, cujos resultados preliminares foram publicados em Martins et al. (2013a).

4.4. Jogo *PhysioVinci*

Reafirmando o que já foi referido, aquando do desenvolvimento da aplicação *PhysioSoft*, era já intenção da equipa de investigação utilizar o código desenvolvido num jogo projetado para motivar os pacientes com doenças neurológicas, para a prática da fisioterapia. Estes pacientes deveriam encontrar-se em estado ligeiro ou moderado, não apresentando problemas cognitivos que o impossibilitassem de compreender a dinâmica do jogo. Este jogo devia estar projetado para pessoas de ambos os sexos, com uma faixa etária alargada, desde jovens até idosos.

Se, numa primeira fase, pela análise dos videojogos existentes no mercado comercial, se procurou basear neles o conceito e o mecanismo de jogo, evoluiu-se, posteriormente, para um conceito que

apostasse mais na envolvimento do paciente/jogador, através de um argumento interessante, que proporcionasse o ambiente imersivo necessário para a sua motivação (Martins, Araújo, Carvalho, et al., 2014).

O desenvolvimento de um jogo é multidisciplinar, sendo o conceito e o argumento dois dos pilares principais. O desenvolvimento de um e de outro destes pilares exige o estudo aprofundado de um conjunto de fatores intrinsecamente a eles ligados, tais como público-alvo, padrões de sociedade, história, entre outros.

Nesta fase, surgiu a oportunidade de o então mestrando Miguel Araújo integrar a equipa de investigação, para, conjuntamente com esta, desenvolver um conceito, um argumento e um *storyboard* para o jogo, o que ia ao encontro daquilo que ele pretendia para a sua dissertação de mestrado em ilustração e animação. Assim, ele ficaria responsável não só por estas tarefas conceituais, mas também por toda a componente gráfica do jogo, ou seja, modelação, animação, texturização, composição, renderização, *skinning* e *rigging* dos cenários, das personagens e dos restantes elementos do jogo.

Por outro lado, a restante equipa responsabilizar-se-ia pela programação do jogo, pela criação de interfaces, pela jogabilidade e pela acessibilidade.

Após um período de estudo colaborativo, a equipa de investigação decidiu, por consenso, utilizar um conceito medieval, baseado nas invenções de Leonardo Da Vinci. Estando já definidos os movimentos fisioterapêuticos, procurou-se estabelecer uma correspondência entre cada um deles e uma invenção, de forma a adaptá-lo a uma situação de jogo eletrónico.

Um conhecimento mais aprofundado relativo à parte conceptual do jogo pode ser conseguido, consultando a dissertação de mestrado do colaborador Miguel Araújo (2015).

4.4.1. DESENVOLVIMENTO DO JOGO

Havendo diversos motores de jogo no mercado, tornou-se indispensável procurar o que conseguisse satisfazer um conjunto de requisitos a que o jogo deveria obedecer, sendo um deles a possibilidade de utilizar o código já desenvolvido na aplicação *PhysioSoft*, pelo que deveria permitir a integração do *Microsoft Kinect SDK*. Por outro lado, deveria suportar o desenvolvimento do jogo em ambiente 3D, cuja escolha tinha conseguido a unanimidade dos elementos da equipa de investigação.

De todos os motores de jogo analisados, a opção recaiu no *Unity 3D*. Trata-se de um motor de busca

com bastante aceitação no mercado e com uma grande comunidade de utilizadores, sendo uma referência atual, no que respeita ao desenvolvimento de jogos para as diversas plataformas. Outro fator relevante que influenciou esta escolha foi o facto de responder às exigências iniciais: ser compatível com os algoritmos desenvolvidos para a aplicação *PhysioSoft*.

4.4.2. PRIMEIRO NÍVEL DO JOGO

O desenvolvimento do jogo começou com o exercício da abdução/adução da articulação glenoumeral, que se fez corresponder à invenção da asa delta planadora de Leonardo Da Vinci. A razão pela qual foi feita esta correspondência está relacionada com a semelhança entre a batida da asa delta e o exercício proposto (Araújo et al., 2015; Martins, Araújo, Lopes, et al., 2014). Para imitar o bater das duas asas, teoricamente o jogador deve utilizar ambos os braços. Contudo, uma vez que o exercício é apenas realizado com um dos membros, o movimento da segunda asa é replicado em espelho.

O *storyboard* deste nível é representado na Figura 43.

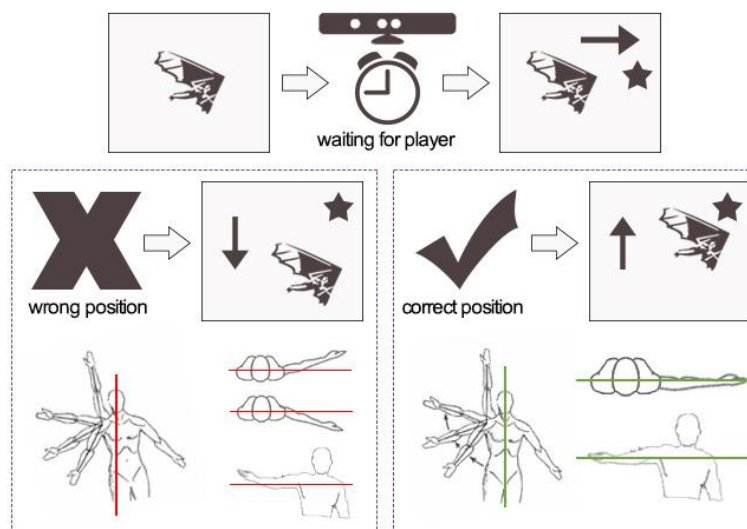


Figura 43 – *Storyboard* simplificado do nível I do *PhysioVinci*

A personagem principal segue um voo estabilizado com a asa delta, até que o jogador assume o controlo do jogo, através do reconhecimento de uma postura inicial. A partir deste momento, o jogador tem de manter o voo estabilizado, para poder apanhar objetos que dão pontos, devendo, para isso, executar corretamente o exercício. Caso a execução não seja correta, o voo é desestabilizado e o planador começa a cair. Se o jogador for capaz de corrigir o exercício antes de

o planador tocar no solo, ele vai voltar para a sua posição normal, que dá acesso aos objetos que proporcionam pontuação. Caso contrário, o jogo termina (Figura 44). Este nível contém um indicador de apoio no canto superior direito, que informa o jogador se ele está a realizar adequadamente o exercício, indicando a direção do movimento e a sua percentagem de conclusão. Além disso, indica os erros, quando o jogador está a realizar o exercício de forma incorreta (Martins, Araújo, Carvalho, et al., 2014).

A posição do jogador é continuamente monitorizada, em tempo real, pelo *Microsoft Kinect* e é possível, através dele, verificar a execução do exercício.

A *performance* do jogador, neste exercício, deverá obedecer às regras estabelecidas aquando da descrição da monitorização deste. Será penalizado em qualquer uma das seguintes situações: ângulo braço-antebraço menor que 180° , alinhamento incorreto no plano frontal, alguma forma de compensação, e aceleração de execução diferente de zero. Estes valores, tal como já foi mencionado anteriormente, devido à anatomia do corpo humano, são apenas teóricos, tendo sido necessário definir alguns limites, para assegurar a jogabilidade (Martins, Araújo, Lopes, et al., 2014).

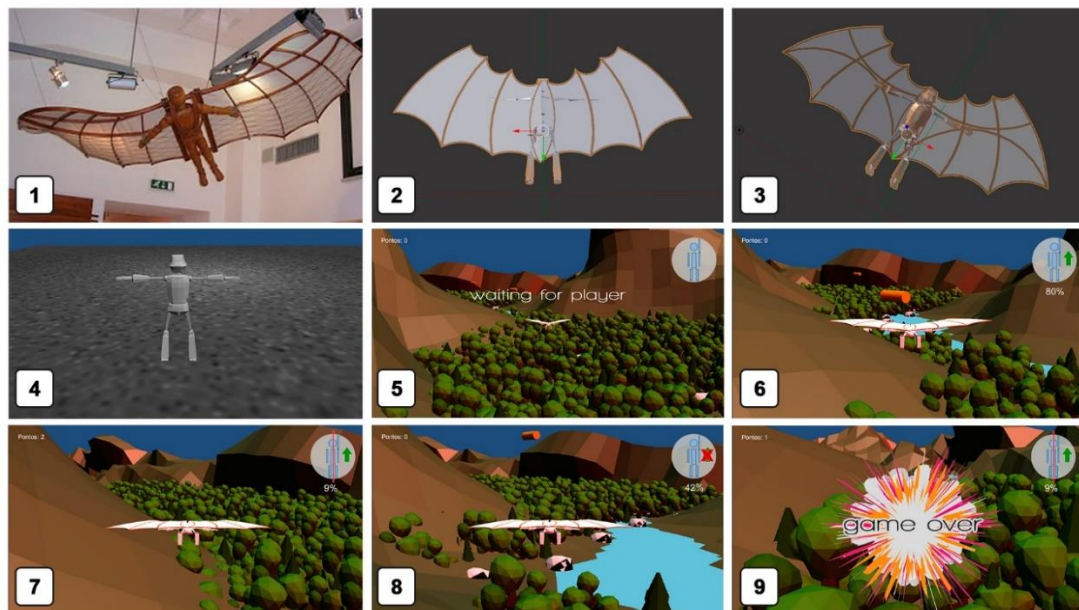


Figura 44 – *PhysioVinci*, Nível I. 1 – Maqueta da Asa Delta de Leonardo Da Vinci; 2, 3 – Modelo 3D da Asa Delta de Leonardo Da Vinci; 4 – *Screenshot* do sistema de calibração do utilizador; 5, 6, 7, 8, 9 – *Screenshots* do Nível I

4.4.3. TESTES PRELIMINARES

Após o desenvolvimento deste nível do jogo, procedeu-se à realização de testes, tanto em ambiente

de laboratório como em ambiente clínico.

Os testes efetuados em ambiente de laboratório foram aplicados a uma amostra selecionada de forma aleatória, a pessoas saudáveis. Estes testes revelaram que os jogadores não mostraram qualquer tipo de dificuldade, quer na compreensão da lógica do jogo, quer na execução do exercício proposto.

Quando se passou para os testes em ambiente clínico, a situação não se revelou da mesma forma. Os doentes, embora, na sua maioria, compreendessem a lógica do jogo, não a conseguiam pôr em prática. Por exemplo, quando o paciente executava incorretamente o exercício, a asa delta começava a descer em direção ao solo. O paciente, em vez de corrigir a sua posição, tinha tendência a acelerar o movimento, na tentativa de fazer subir a mesma. No entanto, com este procedimento, só piorava a situação, porque o sistema detetava outro erro na velocidade, o que levava a asa a cair mais rapidamente. O indicador de apoio da *performance* do exercício também era um motivo de grande distração para o paciente. Conjugando estes e outros fatores, os pacientes sentiam-se perdidos enquanto estavam a jogar, perdendo o interesse e a motivação pelo mesmo.

Juntamente com os profissionais de reabilitação física que assistiram aos testes com os doentes, procurou-se encontrar as razões para o sucedido. Imediatamente os profissionais de saúde alertaram para o facto de um doente neurológico normalmente se focar num objetivo concreto, dispersando a sua atenção, quando é estimulado em demasia. No caso presente, o nível do jogo despoletava uma explosão de acontecimentos em simultâneo, que levava o paciente a desconcentrar-se rapidamente.

Numa discussão de ideias entre a equipa de investigação e os profissionais de saúde, chegou-se à conclusão de que o jogo deveria ter uma narrativa mais simples, e que as situações do jogo deviam aproximar-se mais daquilo que o jogador está a realizar.

Este acontecimento acabou por ser um ponto de viragem nesta investigação. Assim, decidiu-se abandonar o projeto *PhysioVinci*, substituindo-o por outro mais simples e mais direcionado às necessidades e restrições dos pacientes.

4.5. A Reter deste Capítulo

Depois de reuniões com profissionais de saúde nas áreas da reabilitação e da fisioterapia, escolheram-se os exercícios capazes de serem adaptados a situações de jogo eletrónico e monitorizados por técnicas de processamento de imagem. Desenvolveu-se um *software* preliminar

para monitorização de exercícios fisioterapêuticos e, posteriormente, a aplicação *PhysioSoft*, com algoritmos específicos para a monitorização dos exercícios escolhidos, utilizando o *SDK* oficial da *Microsoft* para a *Kinect*.

Era intenção da equipa de investigação, quando foi criada a aplicação *PhysioSoft*, utilizar o código desenvolvido, num jogo projetado para motivar, para a prática da fisioterapia, os pacientes com doenças neurológicas. A equipa decidiu utilizar um conceito medieval, baseado nas invenções de Leonardo Da Vinci, para desenvolver o jogo *PhysioVinci*. Desenvolvido o primeiro nível do jogo, os testes preliminares em ambiente clínico vieram revelar a falta de jogabilidade, pelo que se abandonou este projeto, para se dar início ao jogo *Physioland* descrito a seguir.

Capítulo 5

DESENVOLVIMENTO DO JOGO

Este capítulo descreve a solução integrada desenvolvida, onde, para além do jogo, se apresenta o servidor remoto, a *Application Programming Interface*, o *backoffice*, e a estrutura auxiliar pra apoio à fisioterapia.

5.1. Solução Integrada

Abandonado o jogo *PhysioVinci*, foi necessário definir novas estratégias, para se dar início ao desenvolvimento de um outro jogo que conseguisse ultrapassar as dificuldades encontradas aquando da experimentação do primeiro protótipo do jogo. O resultado surgiu na forma de uma solução integrada, baseada num jogo, num *backoffice* de suporte ao mesmo, numa API (*Application Programming Interface*), num servidor remoto, numa estrutura auxiliar para fisioterapia e num dispositivo móvel para utilização de jogos eletrónicos orientados para a fisioterapia, em ambiente clínico e domiciliário.

Entretanto, o investigador Miguel Araújo encontrava-se em fase de conclusão do seu projeto de mestrado, com o conceito do *PhysioVinci* desenvolvido nas valências que lhe competiam. Uma vez que se ia partir para um conceito diferente, os elementos que este investigador desenvolveu foram, em parte, abandonados, para serem substituídos por outros que ficaram a cargo da equipa de investigação.

A arquitetura lógica do sistema é baseada em cinco pilares principais (Figura 45): o jogo, a componente principal do sistema, que possui, ele próprio, uma base de dados própria; a base de dados, a componente central que suporta todo o armazenamento de informação do sistema; a API, a ponte responsável pela comunicação entre o jogo e a base de dados central; o *backoffice*, uma aplicação centralizada para a gestão do jogo; o cliente, o utilizador do *backoffice*, que pode ser o administrador ou um profissional de saúde.

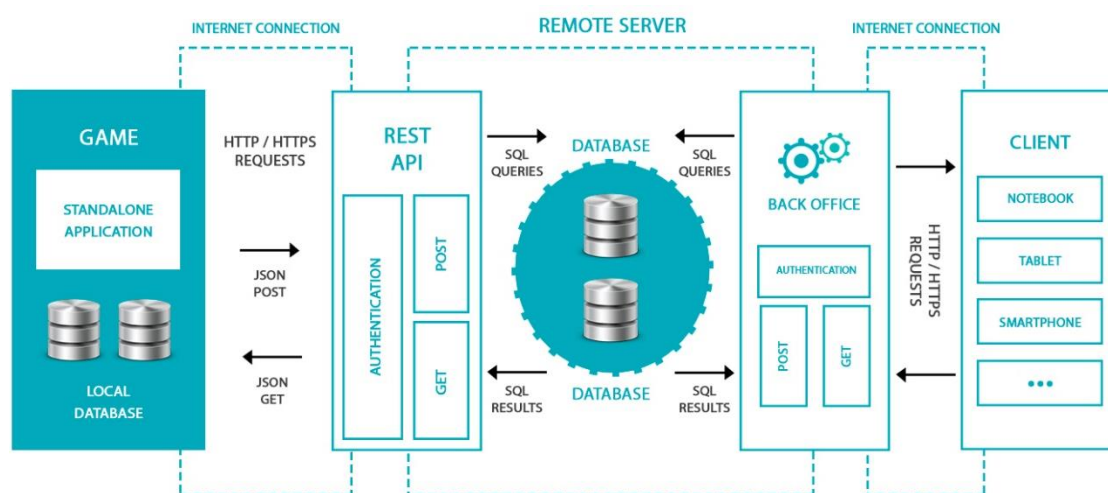


Figura 45 – Arquitetura lógica do sistema

As componentes físicas criadas especificamente para esta solução são: uma estrutura auxiliar, baseada numa armação metálica para dar suporte, sempre que necessário, aos exercícios fisioterapêuticos; um sistema portátil de suporte ao jogo, um equipamento integrado de dispositivos que permite a execução do jogo, de forma autónoma, em ambiente clínico, ou domiciliário.

5.1.1. O JOGO MEDIEVAL PHYSIOLAND

O *Medieval Physioland*, que posteriormente será designado apenas por *Physioland*, surge como uma evolução do *PhysioVinci*. O *Physioland* mantém o conceito medieval do seu predecessor, já que foi considerado um tema que pode ser do interesse do alargado público-alvo do jogo. Também se preservou o ambiente 3D, continuando o motor de jogo *Unity 3D* a ser ferramenta para desenvolvimento. Por conseguinte, as linguagens de programação também se mantiveram, com a reutilização de código escrito no *PhysioVinci*.

Tomou-se como tarefa principal desenvolver uma narrativa que fosse de muito fácil compreensão por parte dos doentes neurológicos, já que foi principalmente neste aspeto que o *PhysioVinci* não conseguiu proporcionar a jogabilidade a estes pacientes.

O desafio seguinte seria desenvolver a componente gráfica do jogo, que passou a ficar, exclusivamente, a cargo do investigador. Este teria de fazer a modelação, a animação, a texturização, a composição, a renderização, o *skinning* e o *rigging* dos cenários, das personagens e dos restantes elementos do jogo. Tratando-se de componentes indispensáveis ao jogo, utilizaram-se personagens, e outros elementos 3D, de bancos gratuitos ou não; criaram-se elementos 3D com *softwares* que facilitam esse processo; usaram-se *softwares* que permitem a animação de personagens, de uma forma bastante intuitiva.

Os *softwares* utilizados foram escolhidos pela facilidade de implementação daquilo que era desejado, ou pela experiência já adquirida pelo investigador.

5.1.1.1. Arquitetura Geral do Sistema

A arquitetura geral do sistema é baseada em cinco componentes principais: o jogo, o *hardware*, os periféricos, a base de dados remota e, obviamente, o jogador (Figura 46).

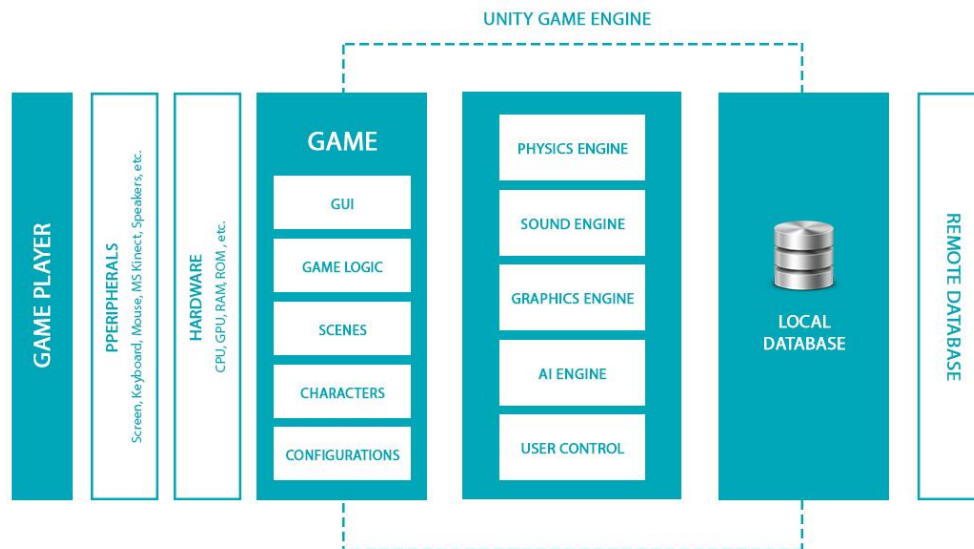


Figura 46 – Arquitetura geral do sistema

Uma vez que o jogo utiliza bibliotecas específicas para *Windows*, o mesmo está dependente deste sistema operativo, para ser executado. Na globalidade, devem garantir-se as seguintes configurações:

- Sistema operativo *Windows 7* ou superior;
- *Microsoft Kinect Runtime 1.8* ou *Kinect for Windows SDK v1.8*;
- *DirectX 9* ou superior.

A execução do jogo requer as seguintes configurações de *hardware*:

- GPU com suporte a DX9 (*shader model 3.0*) ou DX11 com suporte a *feature level 3.0*;
- CPU com suporte para o conjunto de instruções SSE2;
- 2 GB de RAM ou superior;
- Barramento USB 2.0.

A nível dos periféricos, o sistema deve ser constituído por:

- Sensor *Microsoft Kinect V1* versão para *Windows* ou *Xbox*;
- Rato e Teclado;
- Monitor que suporte uma resolução de 1920x1080 (*Full HD*);
- Colunas de som.

Se num extremo da arquitetura se encontra o jogador, para o qual o jogo é projetado, no outro está a base de dados remota, que armazena todas as informações relativas às variáveis inerentes ao sistema e que deverá manter uma comunicação com o jogo.

5.1.1.2. Arquitetura do Jogo

O jogo é constituído, na sua generalidade, por modos de jogo, configurações e níveis.

É preciso lembrar, antes de mais, que o jogador deve ser sempre acompanhado por um profissional de reabilitação física que é o responsável por lhe disponibilizar os desafios proporcionados pelo jogo.

Após o ecrã de carregamento do *Physioland* (Figura 47 (a)), o menu principal (Figura 47 (b)) surge com as opções: modo normal, modo livre e configurações. Nas configurações, o utilizador pode definir os volumes do som, tanto para a música, como para os efeitos, o idioma a utilizar no jogo, desativar ou ativar os alertas, quando os exercícios estão a ser mal-executados, assim como verificar a existência de novas atualizações (Figura 47 (c)). O *login* é obrigatório para se jogar em modo normal. Na prática, a função deste *login* é autenticar a clínica e não um utilizador em si. Qualquer profissional de saúde de uma determinada clínica pode utilizar as suas credenciais para fazer *login*, ficando, automaticamente, assumida a clínica desse profissional.



Figura 47 – Screenshots do *Physioland*: (a) ecrã de carregamento do jogo; (b) menu principal; (c) configurações

O jogo pode ser executado em modo normal ou modo livre, sendo o primeiro o mais versátil e completo. Quando um profissional de saúde escolhe este modo (é obrigatório o *login* da clínica nas configurações e ligação à Internet), aparece-lhe a lista de profissionais de saúde da clínica que está autenticada. Após a seleção do profissional de saúde, é-lhe exibida a lista de pacientes do profissional escolhido (Figura 48 (a)) e, quando um destes é selecionado, ele pode ver o quadro resumo do mesmo (Figura 48 (b)). De seguida, são carregados os níveis, com as respetivas configurações desse paciente. No início de cada nível, é exibida uma tela com a informação do mesmo, juntamente com uma animação que mostra como o exercício deve ser executado (Figura 48 (c)). No final de cada nível, é apresentado um resumo com a pontuação obtida (Figura 48 (d)). Após a execução sequencial de todos os níveis destinados ao jogador, o mesmo é reencaminhado para o menu principal. Neste modo de jogo, toda a informação sobre o jogador é carregada da base de dados remota, assim como todos os dados provenientes da *performance* de cada jogador são enviados para a mesma.

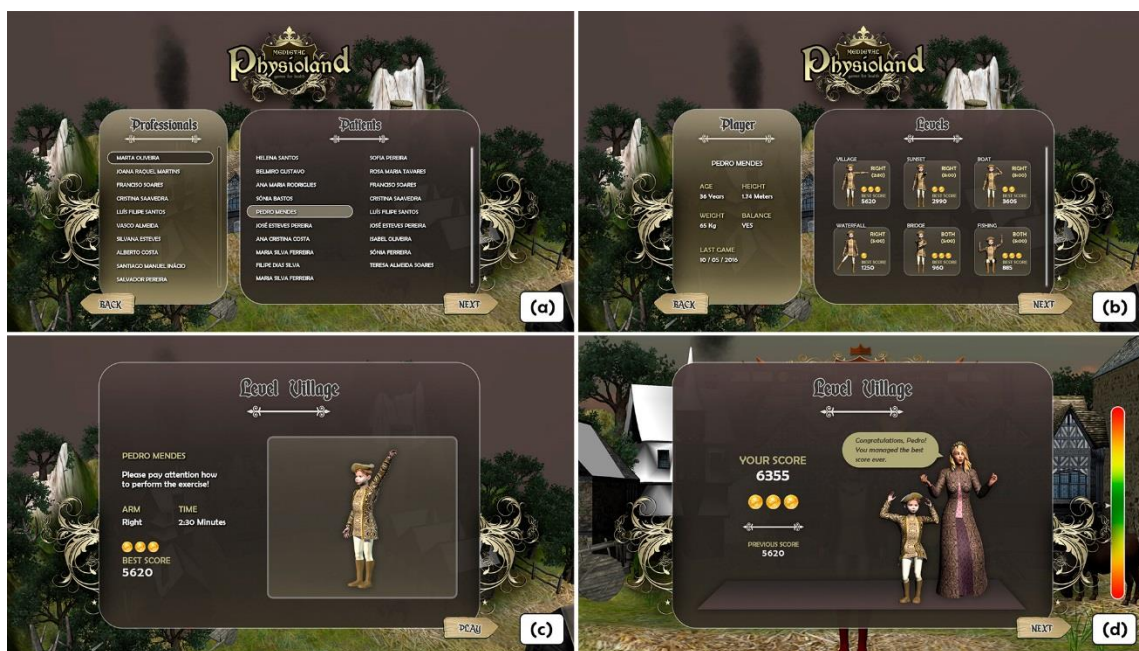


Figura 48 – *Screenshots do Physioland*: (a) secção de escolha de profissionais de saúde e pacientes; (b) perfil resumo do paciente; (c) informação do nível de jogo; (d) resumo final do nível executado

O modo livre é mais indicado para os pacientes que ainda não estão registados na base de dados, ou quando não existe uma ligação à Internet. Neste modo, é possível personalizar os níveis a executar e as respetivas configurações (Figura 49). Os níveis são carregados e o processo é semelhante ao modo normal. Neste caso, o melhor resultado de cada nível é a pontuação máxima obtida no conjunto de todos os jogadores.



Figura 49 – Screenshot do *Physioland*: personalização dos níveis de jogo a executar em modo livre

O mapa de navegação da aplicação indica a forma como o utilizador pode navegar entre as várias secções do jogo (Figura 50).

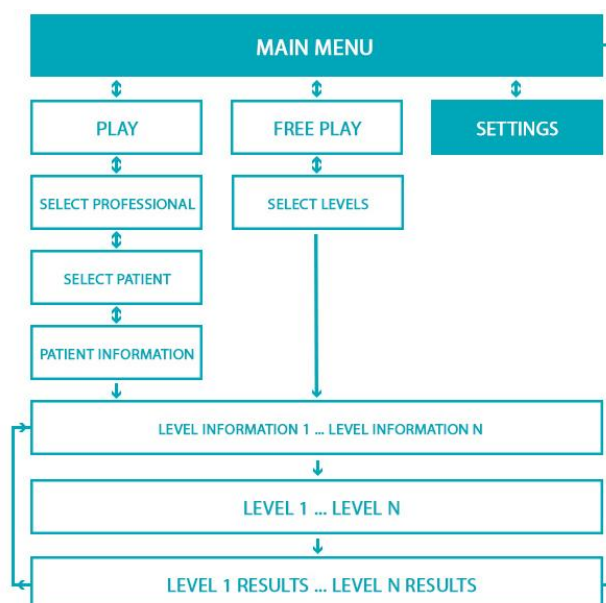


Figura 50 – Estrutura e mapa de navegação do *Physioland*

5.1.1.3. Storyboard

Ao contrário do *PhysioVinci*, o *Physioland* tem uma narrativa muito menos complexa do que o seu antecessor. Esta baseia-se na história de uma família constituída por três personagens: o pai, a mãe e o filho. O pai é o responsável por sustentar a família, tendo, para isso, de arrecadar o maior número

de moedas, em troca das quais ele tem de ultrapassar diversos desafios: a “aldeia”, a “pesca”, o “barco”, o “pôr do sol”, a “cascata” e a “ponte”. Curiosamente, estes nomes surgiram da parte dos pacientes, durante o processo de desenvolvimento do jogo, por terem uma relação direta com o cenário que se pode observar. A mãe e o filho têm a função de ajudar a personagem principal a atingir os objetivos propostos. A narrativa é fácil de interpretar, uma vez que o jogador se revê na filosofia do jogo. Embora esta narrativa esteja situada num período histórico diferente do atual, é intemporal.

A conceção inicial do jogo baseou-se na construção de um pequeno mundo, que não é mais do que uma aldeia medieval, com elementos dessa época. Nos diversos níveis, a personagem principal surge em locais distintos, onde tem de efetuar desafios para obter o sustento da família.

No primeiro nível, “aldeia”, que representa o exercício da abdução/adução da articulação glenoumeral, a personagem principal surge no centro do aldeia, voltado de frente para o jogador. Do lado do membro que a personagem está a exercitar, surgem moedas dispostas no arco descrito pela mão respetiva, durante o movimento (Figura 51). É de referir que o membro exercitado pelo jogador é o do lado contrário ao da personagem, para dar a sensação ao jogador de que se está a ver num espelho.



Figura 51 – Screenshot e storyboard do primeiro nível de jogo do *Physioland*

À medida que o braço se vai afastando da linha média do corpo, a personagem vai apanhando moedas, com valores cada vez maiores. Quando atinge a última moeda, no sentido ascendente (abdução), novas moedas aparecem, para serem recolhidas no movimento contrário. Atingida a última moeda no sentido descendente (adução), o processo reinicia-se, repetindo-se até que o cronómetro chegue a zero.

O cronómetro começa a contagem do tempo (decrecente) quando o sistema deteta que o paciente se encontra na posição inicial do exercício. A partir deste momento, o paciente toma o controlo da personagem principal, tendo como objetivo arrecadar o maior número de moedas. Quando o paciente está numa posição incorreta, a luz ambiente muda para vermelho intermitente e é dado o alerta, para o paciente corrigir a sua postura. Durante este período, as moedas também desaparecem, não dando margem para serem recolhidas. Assim que retoma a posição correta, a situação volta ao normal.

O segundo nível, “pôr do sol”, refere-se ao exercício da flexão/extensão da articulação glenoumeral. Aqui, a personagem principal encontra-se no topo de uma torre, tendo uma visão geral sobre a aldeia. Como se encontra voltado de costas para o jogador, a visão espelhada não é necessária, uma vez que coincide, no jogador e na personagem, o membro exercitado. Tal como no nível anterior, a personagem tem de apanhar as moedas que se encontram posicionadas no arco descrito pela mão, enquanto descreve o movimento correspondente ao exercício (Figura 52). A lógica da pontuação é a mesma do nível anterior, assim como o procedimento que ocorre quando é detetada uma posição incorreta, por parte do jogador.



Figura 52 – *Screenshot e storyboard* do segundo nível de jogo do *Physioland*

Tal como indica o nome do terceiro desafio o “barco”, a personagem principal encontra-se num barco, para poder ganhar moedas de modo a conseguir suportar as despesas da família. Para o fazer, ele terá de replicar o exercício da flexão/extensão da articulação radioumeral, executado pelo paciente. À semelhança do que acontece no primeiro exercício, a personagem principal encontra-se voltada para o paciente, necessitando este de o ver como se fosse o seu reflexo num espelho, isto é, são contrários os membros exercitados por um e por outro.

De novo, o procedimento relativo à pontuação obtida pelos pacientes segue os padrões dos níveis

já descritos: as moedas encontram-se no arco descrito pela mão, enquanto realiza o exercício, sendo o seu valor tanto maior quanto mais afastadas estiverem da posição inicial (Figura 53). O paciente deve garantir uma postura minimamente correta, para conseguir executar o jogo. Caso não o faça, ocorre uma situação semelhante à verificada nos níveis a que já se fez referência.



Figura 53 – Screenshot e storyboard do terceiro nível de jogo do *Physioland*

Um outro desafio que faz parte do *Physioland* é o que foi chamado de “cascata” e que se refere ao exercício da abdução/adução da articulação coxofemoral. É o único nível do jogo que proporciona, ao paciente, a exercitação dos membros inferiores. Aqui, a personagem encontra-se junto ao rio, com um barco e uma queda de água como pano de fundo. A personagem volta a estar de frente para o jogador, obrigando-o a vê-la em formato de espelho. O objetivo, desta vez, é apanhar as moedas com o pé, ou seja, as moedas surgem no arco descrito por este. Quando mais afastadas estiverem as moedas da linha média do corpo da personagem, maior é o seu valor (Figura 54).



Figura 54 – Screenshot e storyboard do quarto nível de jogo do *Physioland*

A moeda mais valiosa é obtida quando o paciente completa a abdução. Então, novas moedas surgem

e ele começa a executar o exercício em sentido contrário, ou seja, começa a realizar a adução. Neste sentido, as moedas surgem com valores por ordem decrescente. A situação repete-se até o cronómetro chegar a zero.

O quinto nível, “ponte”, proporciona, ao paciente, um exercício com movimentos mais livres. A personagem encontra-se em cima de uma ponte e, no início, a câmara do jogo desloca-se de forma a tornar-se numa câmara subjetiva, isto é, como se fosse a visão da personagem. Por sua vez, o jogador revê-se nela, considerando os membros da personagem como um prolongamento dos dele próprio.

À medida que o jogo avança, a personagem principal tem de apanhar as moedas que vão surgindo, de uma forma aleatória, à sua frente (mais à direita, mais à esquerda, mais acima, mais abaixo, mais ou menos afastadas). A personagem principal deve alternar entre o membro superior esquerdo e o direito, independentemente do local onde aparece a moeda (Figura 55). Contudo, este modelo não é rígido, podendo ser executado apenas com um braço, ou utilizar também o outro braço, caso não consiga alcançar uma moeda com o primeiro, devendo respeitar-se os problemas de cada paciente. Sempre que uma moeda é recolhida, outra aparece noutro lugar, passados alguns segundos. Teoricamente, sempre que o jogador apanha uma moeda, deveria recolher o seu braço até à posição inicial. Como nem todos os pacientes o conseguem fazer, o jogo não verifica essa situação, tornando-se, assim, mais versátil.



Figura 55 – *Screenshot e storyboard* do quinto nível de jogo do *Physioland*

Se o paciente estiver em compensação, que, relativamente à *performance*, é a única variável monitorizada, o procedimento de erro é o mesmo dos exercícios anteriores.

A “pesca” é o mote para o sexto nível. A personagem está de costas voltadas para o jogador, nas

margem do rio, no qual se pode observar uma pequena embarcação. O desafio que a personagem principal enfrenta consiste em apanhar as moedas que vão caindo de cima, alternadamente, à esquerda e à direita. No entanto, em cada um dos lados, existe uma margem de aleatoriedade na queda das moedas (Figura 56). Para vencer este desafio, o paciente tem de fazer deslocar o barco, para o lado em que elas vão surgir, executando o exercício das roldanas.



Figura 56 – *Screenshot e storyboard* do sexto nível de jogo do *Physioland*

Este desafio pode ser executado em vários níveis de dificuldade (fácil, médio, difícil, e muito difícil). Estes níveis de dificuldade refletem-se na velocidade da queda das moedas. Todas as moedas têm o mesmo valor de pontuação. Contudo, neste exercício, se o paciente deixar cair uma moeda à água, é penalizado, sendo-lhe retirada pontuação. Sempre que o paciente tomar uma postura incorreta, é dado o alerta e as moedas desaparecem durante este tempo, situação semelhante àquela que acontece nos restantes níveis.

Durante a realização dos diferentes exercícios, o paciente pode estar sentado, de pé, com ou sem apoio, à exceção da abdução/adução coxofemoral, que tem de ser executado de pé, com ou sem apoio. Dada a sua natureza, durante o exercício das roldanas, o paciente deve estar sentado, sendo esta a única postura possível.

Do lado direito da tela do jogo, encontra-se um gráfico correspondente à aceleração do movimento do paciente. A seta que pode ver-se nas diferentes imagens, do lado esquerdo deste gráfico, move-se para cima e para baixo, conforme se trata da aceleração do movimento num ou noutro sentido de execução. O paciente pode orientar-se por este gráfico, para confirmar se está a conseguir um controlo da velocidade. Repare-se que o gráfico varia em termos de cor, verde, amarelo, laranja e vermelho, o que corresponde a diferentes valores de aceleração, mostrando, ao paciente, o seu desempenho em termos de controlo da velocidade.

5.1.1.4. Particularidades do Desenvolvimento

Foram várias as alterações que se foram efetuando ao longo do desenvolvimento do *Physioland*, tanto por questões técnicas, como estéticas, mas sobretudo por questões de jogabilidade. Assim, tornou-se imperativo garantir que o jogo se adequaria aos pacientes e que estes o conseguiriam executar sem qualquer dificuldade. Deste modo, os diferentes testes intermédios efetuados, tanto em ambiente de laboratório como em ambiente clínico, foram cruciais para a equipa de investigação fazer todos os ajustes necessários para que isso ocorresse.

Ao longo do estudo, reparou-se que os alertas dados aos pacientes, quando estes tomavam uma má postura, os levavam à desmotivação e mesmo à frustração. Inicialmente optou-se por criar diferentes níveis de dificuldade, com alertas para margens de erros diferentes, contudo, esta solução, apesar de várias tentativas, nunca foi bem conseguida em ambiente clínico. Deste modo, optou-se por uma solução de alertas em casos extremos, ou seja, apenas quando os exercícios começam a ser executados em planos diferentes daqueles que são pretendidos, ou quando os valores dos ângulos definidos pelas articulações ultrapassam, largamente, os valores pretendidos. Para além disso, tornou-se opcional esta situação de alertas, no menu das configurações. Em todo o caso, o paciente continua a ter de manter estes valores mínimos, para conseguir jogar.

Um outro problema que se verificava no *PhysioVinci* era a quantidade de elementos que distraíam o paciente, enquanto este executava o jogo. No *Physioland*, teve-se o cuidado de minimizar os efeitos visuais que fossem secundários à cena principal. Para salvaguardar esta situação, apenas surgem elementos estáticos e repetitivos em segundo plano, que são facilmente ignorados pelo paciente, e que têm como função criar um ambiente relaxante e acolhedor.

Inicialmente, as coordenadas das articulações do paciente eram mapeadas diretamente nas articulações do esqueleto da personagem, mas rapidamente se apercebeu que esta solução não era a mais indicada, por diferentes motivos. Um deles era o facto de deixar, com bastante liberdade, o membro a exercitar pela personagem, o que levava os pacientes a enviesar o exercício. Outro problema que, por vezes, ocorria, tinha uma origem técnica: o sistema perdia, por momentos, a monitorização do jogador, e a personagem, por seu lado, ficava toda desconfigurada. A solução para este problema foi conseguida, manipulando os membros da personagem através das funções de cálculo dos ângulos formados pelas diferentes articulações específicas de cada exercício. Este procedimento está dividido em duas fases. A cada leitura das posições das coordenadas relativas aos membros que se quer monitorizar, é feito o cálculo dos ângulos pretendidos, segundo os

procedimentos já descritos. Estes valores são enviados para uma função que calcula a média das últimas dez leituras, conforme a seguinte função em javascript:

```
function angle_average(x)
{
  if (values.length < 10)
    values.push(x);
  else
  {
    values.shift();
    values.push(x);
  }

  var sum = values.reduce(function(a, b) { return a + b; });
  var avg = sum / values.length;

  return avg
}
```

Com o resultado obtido, verificou-se uma maior precisão na leitura do exercício efetuado por parte do paciente. Contudo, como já foi referido anteriormente, os valores reais e os lidos não são exatamente os mesmos, havendo necessidade de os remapear de um intervalo para o outro, numa segunda fase, recorrendo à seguinte função:

```
function map(value, input_min, input_max, output_min, output_max)
{
  return (value - input_min) * (output_max - output_min) / (input_max - input_min) + output_min;
}
```

Os valores obtidos pela função *map* são utilizados para movimentar os membros da personagem, tornando este movimento muito mais fluido.

Para além das vantagens atrás descritas e pelo facto de a personagem se movimentar apenas com os membros pretendidos e nos planos desejados, este método impele o paciente a executar o exercício, conforme ele está a ser feito pela personagem. Durante os diversos testes, verificou-se que os pacientes, quando estavam a executar o exercício com desalinhamentos, ao verem a postura da personagem, tentavam corrigir a sua, sem que para isso fossem alertados.

O mapeamento direto das coordenadas das articulações do paciente nas da personagem acaba por acontecer apenas no exercício do movimento cruzado, dada a natureza deste.

Durante a execução de um determinado exercício, o sistema vai armazenando, em cada segundo, os valores do alinhamento e da compensação (desvios máximos), assim como os valores da velocidade, da aceleração e dos ângulos monitorizados, para serem enviados, posteriormente, para a base de dados. Sempre que o sistema deteta que o paciente está parado, durante a execução de um desafio, através da sua postura (com valores semelhantes aos iniciais) e da velocidade de execução (aproximadamente igual a zero), descarta os respetivos valores.

5.1.1.5. Sonoplastia

A sonoplastia, ou desenho de som, é uma área bastante importante no desenvolvimento de jogos eletrónicos. Através do som, consegue-se, entre outras coisas, criar atmosferas, transmitir sensações, destacar ações e movimentos, e reforçar a naturalidade dos elementos envolventes. Este processo criativo de organização, de criação e de manipulação de sons leva, a um nível superior, a experiência do jogador enquanto está a executar o jogo.

No que toca ao desenvolvimento da componente sonora do *Physioland*, pode dizer-se que foi dividida em duas secções: música e efeitos. A primeira secção refere-se às músicas que são utilizadas como fundo da introdução, dos menus, dos separadores, dos níveis, entre outras regiões. A secção “efeitos” conta com uma panóplia de sons da natureza, assim como com outros de aprovação ou reprovação e de movimentos de elementos.

As músicas utilizadas são típicas do período da idade média, e os efeitos generalistas e específicos de jogos. Na generalidade, é criada uma atmosfera relaxante, com a combinação da música com os diversos sons da natureza, tornando-se mais emotiva quando o jogador entra em ação, com a realização dos desafios proporcionados pelo jogo.

Todos os efeitos e músicas utilizadas no *Physioland* pertencem a bancos gratuitos de sons.

5.1.1.6. Testes de *Performance* de Software

O *Physioland* foi testado em diversas máquinas, com configurações de *hardware* e *software* diferentes, equivalentes a um computador de alta gama (máquina 1), um computador de baixa gama (máquina 2), e um computador com um *hardware* mais antigo (máquina 3).

Máquina 1:

- Sistema Operativo: *Windows 10 64 Bit*;
- CPU: *Intel Core i7 4700HQ Processor* GPU: *Intel HD Graphics 3000 Mobile*;
- GPU: *NVIDIA GeForce GT750M* com 2GB/4GB DDR3 VRAM;

- RAM: 16GB DDR3 1600MHz.

Com uma máquina com as configurações acima apresentadas, o *Physioland* pode ser executado com os gráficos na qualidade máxima, consumindo, em média 28% da CPU durante a sua execução.

Máquina 2:

- Sistema Operativo: *Windows 8.1 64 Bit*;
- CPU: *Intel Bay Trail-M Quad Core Celeron N2930 Processor*;
- GPU: *Intel HD Graphics 3000 Mobile*;
- RAM: 4GB DDR3 1600MHz.

Nesta máquina, o *Physioland* consumiu, em média, cerca de 60% dos recursos da CPU durante a sua execução. Teve que se baixar a qualidade dos gráficos para o nível médio, para se garantir alguma fluidez, durante a execução do jogo. Embora não seja a melhor solução de *hardware* para a execução deste jogo, é uma solução economicamente viável.

Máquina 3:

- Sistema Operativo: *Windows 7 64 Bit*;
- CPU: *Intel Core 2 Duo P8400 / 2.26 GHz*;
- GPU: *NVIDIA GeForce 9650M GT - 1 GB VRAM*;
- RAM: 4GB DDR2 SDRAM 800 MHz.

Devido à GPU que esta máquina possui, jogou-se o *Physioland* de uma forma fluída, com os gráficos na qualidade máxima. A nível de CPU, o jogo consumiu uma média de 54% de recursos desta, aquando da sua execução.

O *Physioland* consome entre 200 MB a 300MB de RAM durante a sua execução.

5.1.2. SERVIDOR REMOTO

O servidor remoto é responsável por garantir a centralidade da informação de todo o sistema. Aloja uma base de dados SQL (*Structured Query Language*), uma API e um sistema de *backoffice*.

Sendo um requisito para diferentes clínicas, ele deve estar acessível através de uma ligação à Internet, permitindo, assim, um acesso globalizado à informação nele existente.

5.1.3. APPLICATION PROGRAMMING INTERFACE (API)

A API tem a importante função de estabelecer uma “ponte” entre o jogo e a base de dados central, de forma a partilhar dados entre si. Está escrita em PHP (*Hypertext Preprocessor*), é baseada numa arquitetura REST (*Representational State Transfer*) e tem um *middleware* de segurança, para

autenticação dos utilizadores, que utiliza o protocolo *OAuth* (Especificação 2.0). Os pedidos são feitos pelo protocolo HTTP/HTTPS (*Hyper Text Transfer Protocol/Hyper Text Transfer Protocol Secure*), através dos métodos GET ou POST (Figura 45).

É de realçar que o *Physioland* pode estar instalado em vários dispositivos de diversas clínicas de reabilitação física. Assim, nas configurações, é necessária a autenticação de um utilizador de uma clínica, para o jogo poder aceder às informações relativas aos doentes e profissionais de saúde da mesma.

Para qualquer autenticação, é feito um pedido à API, enviando-lhe alguns parâmetros codificados em JSON (*JavaScript Object Notation*). O pedido é feito com base na identificação do jogo, do *username* e da palavra-passe (codificada) do profissional de saúde, da seguinte forma:

```
{
  username: string,
  password_sha2: string,
  game_id: int
}
```

No caso de a autenticação ser inválida obtém-se uma resposta com dois parâmetros (erro de código e descrição do erro), da seguinte forma:

```
{
  error: int,
  error_description: string
}
```

Se a autenticação for válida, a API devolve três parâmetros: *access token*, número de segundos para este *token* expirar, e *refresh token*, no seguinte formato:

```
{
  access_token: string,
  expires_in: int,
  refresh_token: string
}
```

A validade do *access token* e do *refresh token* são, respetivamente, trinta minutos e dez dias. Estes

valores são guardados na base de dados local, para serem utilizados nas chamadas à API, para recepção de dados da base de dados ou para envio de informação, para esta. A base de dados central também deverá salvaguardar estes valores, associando-os à identificação do utilizador e à identificação do jogo.

Sempre que o *access token* expira, o sistema usa o *refresh token* para obter um novo *access token* e um novo *refresh token*. Para além da segurança que este sistema proporciona, em teoria, os utilizadores da clínica só têm de voltar a autenticar-se, se não utilizarem o jogo durante dez dias seguidos. Neste caso, o sistema vai solicitar uma nova autenticação.

Após a autenticação da clínica (através do *login* de um utilizador da mesma), as chamadas à API, para se obter ou enviar dados relativos a um paciente, fazem-se de forma semelhante, mas utilizando o *access token* obtido anteriormente. Por exemplo, para se obter a lista de pacientes da clínica autenticada, poder-se-ia fazer um pedido à API, através do URI (*Uniform Resource Identifier*):

```
https://PhysioLand.game/api/patients/getAll/?access_token=[ access_token]
```

A resposta obtida pela API seria do seguinte tipo:

```
[
  {
    patient_id: int,
    patient_name: string
  },
  (...)
  {
    patient_id: int,
    patient_name: string
  }
]
```

Para enviar o resultado de um paciente, relativo à sua *performance*, durante uma sessão de fisioterapia, poder-se-ia chamar o URI:

```
https://PhysioLand.game/api/patients/sessions/insert/?access_token=[access_token]
```

Os seguintes parâmetros seriam enviados através do método POST:

```
{
```

```

{
    patient_id: int,
    professional_id: int,
    session_id: int,
    levels: [
        {
            id_level: int,
            id_time: int,
            id_difficult: int,
            id_limb: int,
            results: [
                points: float,
                alignment: [
                    {
                        time: int,
                        value: float
                    }
                    (...)
                ],
                compensation: [
                    {
                        time: int,
                        value: float
                    }
                    (...)
                ],
                acceleration: [
                    {
                        time: int,
                        value: float
                    }
                    (...)
                ],
                velocity: [
                    {
                        time: int,
                        value: float
                    }
                    (...)
                ],
                angles: [
                    {
                        time: int,
                        angle_id: int,
                        value: float
                    }
                    (...)
                ],
            ],
        }
        (...)
    ]
}

```

A lógica das chamadas à API, para as diferentes situações, segue um procedimento similar.

Como pode observar-se, a API foi construída de uma forma bastante versátil e escalável, podendo ser utilizada tanto no *Physioland* como noutro jogo a ser construído pela equipa de investigação, poupando, assim, algum tempo de desenvolvimento.

5.1.4. BACKOFFICE

Na sequência do projeto atual, e prevendo-se que outros possam surgir na área de jogos sérios

orientados para a fisioterapia e, consequentemente, na árdua e morosa tarefa de criar sistemas de *backoffice* para cada um dos jogos desenvolvidos, tornou-se necessária a criação de um sistema genérico e integrado que permitisse fazer a gestão de toda a informação resultante da utilização desses jogos, numa única plataforma remota, apoiada por uma base de dados centralizada. Assim, pode ter-se vários jogos, várias unidades de saúde, com o seu respetivo *staff* e pacientes a trabalharem, diretamente e de uma forma organizada, num único sistema (Figura 57) (Martins, Carvalho, & Soares, 2016b).

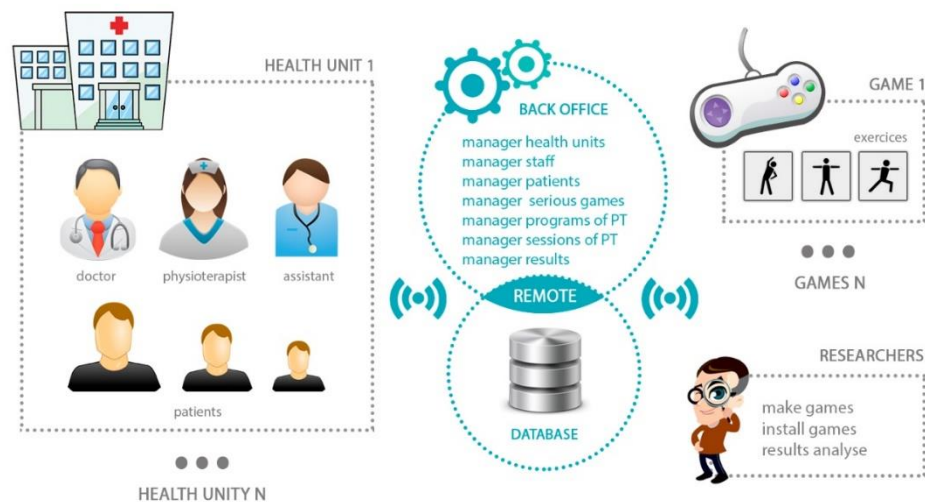


Figura 57 – Arquitetura genérica de comunicações com o *backoffice*

Uma vez que se pretendia uma solução modular para garantir que seria possível acrescentar, a qualquer momento, a gestão de novos jogos, atualizações, entre outras funcionalidades, foi idealizada uma solução baseada numa plataforma *web*.

Partindo desta ideia, construiu-se aquilo que seria um modelo ideal para o *backoffice*, que deveria ter em conta alguns princípios básicos de segurança, integridade, estabilidade, fiabilidade e fluidez.

O *backoffice* divide-se em cinco áreas principais: gestão de unidades de saúde, gestão de *staff*, gestão de pacientes (jogadores), gestão de jogos e estatísticas. Todas estas áreas se regem por uma hierarquia de privilégios de utilizadores (administradores, médicos, fisioterapeutas, assistentes e outros), com limitações específicas para cada um deles (Martins et al., 2016b).

Para além das funções de gestão, o *backoffice* é multilinguagem, podendo os seus utilizadores optarem pela língua inglesa ou portuguesa (Martins et al., 2016b).

A Figura 58 apresenta, de uma forma genérica e resumida, o comportamento da aplicação, numa

situação tridimensional (médico, fisioterapeuta e paciente), cujo objetivo é criar um programa de fisioterapia baseado na utilização de um jogo sério. Neste caso, o médico faz *login* no *backoffice*, cria um perfil do paciente (jogador), assim como o seu programa fisioterapêutico, mencionando os profissionais responsáveis por ele (fisioterapeutas e respetivos assistentes).

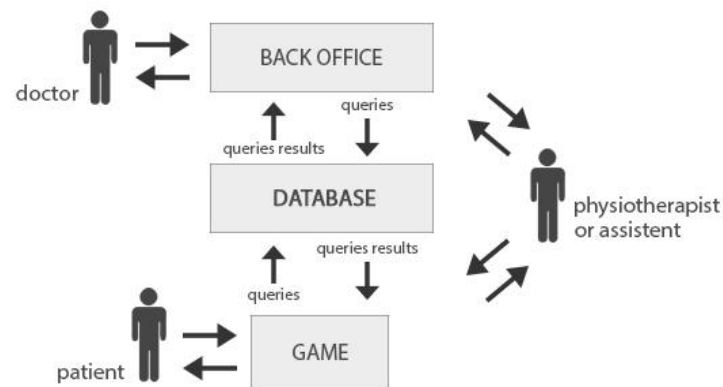


Figura 58 – Comportamento do sistema de *backoffice* num modelo tridimensional

O fisioterapeuta faz *login* no jogo, escolhe o jogador, e o seu programa fisioterapêutico é carregado para o jogador começar a jogar. O núcleo desta arquitetura é a base de dados, que guarda toda a informação gerada, sendo o *backoffice* o gestor dessa informação. O jogo serve-se dessa informação para carregar os programas dos jogadores e enviar todos os resultados para a base de dados, podendo ser consultados, pelo médico ou pelos responsáveis pelo doente, no *backoffice*.

No desenvolvimento do *backoffice*, teve-se em atenção as advertências do *World Wide Web Consortium* (W3C), que é o órgão responsável por recomendar padrões de desenvolvimento para a *Internet* (*web standards*). Hoje em dia, com a diversidade de dispositivos (computadores, *smart tv*, *smartphones*, *tablets*, entre outros) que permitem o acesso à *Internet*, torna-se imperativa a utilização destes padrões, de forma a garantir que a solução é totalmente funcional na maioria dos navegadores (*browsers*). Estas recomendações do W3C foram religiosamente seguidas pela equipa de investigação, a fim de evitar problemas de compatibilidade, formatação e outros, no futuro (Martins et al., 2016b).

Na área de programação, foram utilizadas várias linguagens para diferentes fins. A nível de construção estética e estrutural, foi utilizada a programação HTML5, juntamente com as CSS3, para a criação de estilos. Para a programação interpretada, executada pelo navegador, foi utilizado, massivamente, o *Javascript* com diversas *frameworks* baseadas em *jQuery*. Já no que refere à linguagem *server-side*, optou-se por utilizar o PHP5, juntamente com o SQL, para acesso às bases

de dados. As linguagens utilizadas são, atualmente, as mais usuais no mercado, já com provas dadas de fiabilidade, de segurança e de integridade, quando programadas segundo as orientações e *standards* recomendados.

A usabilidade, que pode ser definida em cinco dimensões (aprendizagem, eficiência, memorização, robustez e satisfação), pode ser a “chave do sucesso” de uma aplicação. Caso o utilizador não se sinta confortável na utilização de uma determinada aplicação, tende a desistir facilmente dela. Posto isto, consideraram-se algumas diretrizes para a organização dos conteúdos, no *backoffice*. Primeiro, considerou-se a importância de criar um *layout* responsivo, adaptável aos diferentes dispositivos alvo (computadores, *smartphones* e *tablets*), com o objetivo de promover uma usabilidade adequada à dimensão e formato destes. Em segundo lugar, foi necessário idealizar a estrutura da organização da informação. As principais funções estão acessíveis através de um menu lateral do lado esquerdo, sempre disponível a partir de qualquer parte da aplicação. Junto dos menus principais, pode abrir-se submenus que contêm as principais funções dos primeiros. A navegação é bastante intuitiva e fluida, baseando-se na estrutura lógica de diversas aplicações que estão no mercado e que já foram altamente testadas, como é o caso do *Facebook* (pesquisa de utilizadores, perfis de utilizadores, envio de mensagem entre utilizadores, caixas de alertas, entre outras funcionalidades) (Figura 59).

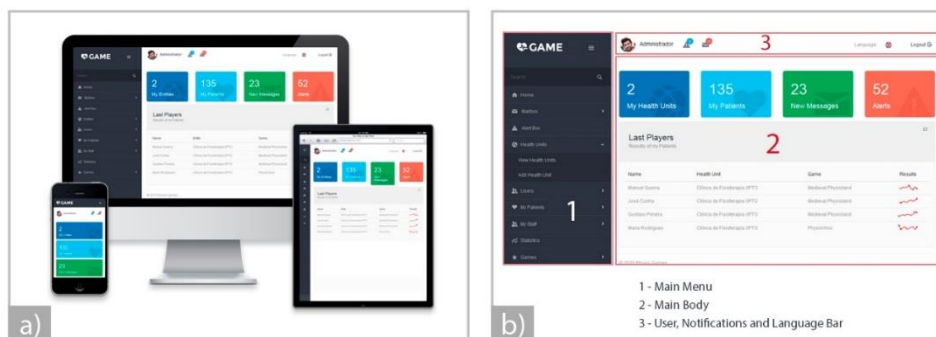


Figura 59 – (a) Aplicação web com *layout* responsivo; b) Principais áreas do *backoffice*

De forma a garantir segurança, fiabilidade, disponibilidade e integridade da base de dados, optou-se pelo modelo mais utilizado atualmente, o relacional, que se baseia no conceito de relações, onde uma relação é uma tabela de valores (Martins et al., 2016b).

Após o *brainstorming* sobre a estrutura de dados do *backoffice*, procedeu-se à sua normalização, para permitir um armazenamento eficiente, uma redução da sua redundância e um eficiente acesso aos dados armazenados (Martins et al., 2016b).

O diagrama Entidade-Relação (E-R) da base de dados é representado no Anexo A.

Como já foi especificado anteriormente, o *backoffice* contém diversas áreas que estão condicionadas a uma hierarquia de utilizadores. Para se perceber melhor esta hierarquia de privilégios, pode observar-se, no Anexo B, um organograma com a estrutura de todas as secções do *backoffice* e das respectivas áreas restritas.

Para melhor se entender a hierarquia de privilégios dos utilizadores, estes estão divididos por cinco classes distintas: administradores, médicos, fisioterapeutas, assistentes de fisioterapia e outros.

Os administradores são, normalmente, utilizadores da equipa de investigação e podem aceder a todas as secções do *backoffice*. Só eles é que podem instalar novos módulos dos jogos, adicionar unidades de saúde e aceder às estatísticas globais e específicas da utilização dos jogos e do próprio *backoffice*.

No *backoffice*, os médicos são responsáveis por criarem os perfis dos seus pacientes, assim como os seus programas de fisioterapia, baseados em jogos sérios, delegando responsáveis (fisioterapeutas e auxiliares) para o acompanhamento dos mesmos, em campo. Só eles é que podem assumir estas tarefas, podendo editá-las a qualquer momento.

Os fisioterapeutas são responsáveis por cumprirem, juntamente com os seus pacientes, os programas de fisioterapia criados pelo médico que os delegou para tal. Durante a execução de um programa fisioterapêutico, podem entrar no *backoffice*, escolher a sessão de fisioterapia de um determinado paciente e escrever informações adicionais que poderão ser consultadas no futuro. Os assistentes de fisioterapia apenas podem navegar pelas áreas comuns a todos os utilizadores.

A classe “outros” pode ser associada, por exemplo, a um diretor de uma unidade de saúde e apenas tem interesse se o mesmo tiver uma classe secundária de “gestor”.

O gestor é uma classe secundária que é um complemento da primária (médico, fisioterapeuta ou outro), que permite, ao utilizador, gerir o *staff* (equipa) da sua unidade de saúde, podendo adicionar, à mesma, médicos, fisioterapeutas, auxiliares. Ele também pode adicionar novos gestores à sua unidade de saúde.

De entre as várias funções e características, podem destacar-se a gestão e a instalação de módulos de gestão de jogos sérios orientados para a fisioterapia, a gestão das unidades de saúde (Figura 60), dos seus *staffs* e dos seus pacientes, a gestão dos programas fisioterapêuticos, das respectivas sessões de fisioterapia, assim como dos seus resultados. O *backoffice* também possui um sistema de mensagens para os utilizadores poderem comunicar entre si, e um sistema de alertas baseado

em mensagens a serem enviadas, automaticamente, aos médicos e fisioterapeutas, tais como: faltas de comparência às sessões; relatório de desempenho; evolução semanal dos pacientes; fim de programa fisioterapêutico, entre outros alertas relevantes.

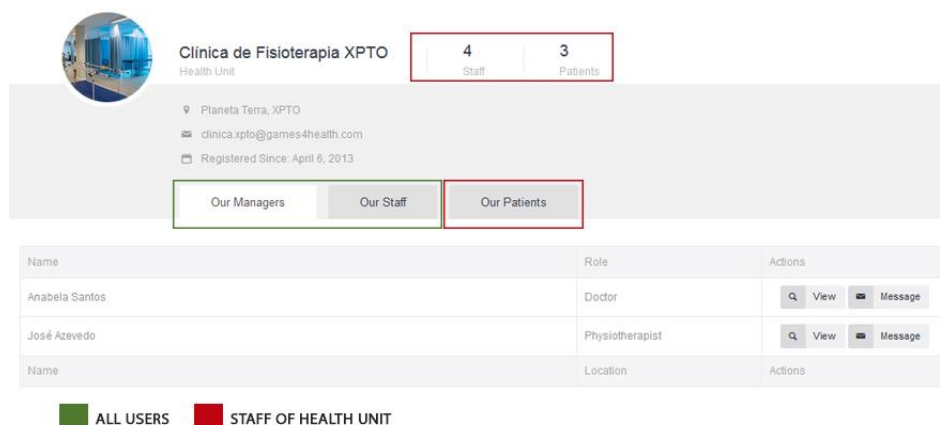


Figura 60 – Exemplo de um perfil de uma unidade de saúde

A descrição detalhada de todas as funcionalidades e características pode ser encontrada em (Martins, Carvalho, & Soares, 2015b).

O *backoffice* contém um módulo do jogo *Physioland*, com as características e configurações específicas para ele, ou seja, os profissionais de saúde podem criar um plano de fisioterapia baseado neste jogo, personalizando-o com os desafios proporcionados pelo mesmo.

O facto de o *backoffice* desenvolvido pela equipa de investigação gerir, de uma forma centralizada, toda a informação de vários jogos sérios, distribuídos por várias unidades de saúde, permite uma melhor eficiência da gestão do tempo e dos resultados, tanto a nível profissional como de investigação. A possibilidade de instalação de módulos de gestão de novos jogos torna-o versátil e poderoso.

5.1.5. ESTRUTURA AUXILIAR

A estrutura auxiliar, como o nome indica, serve como elemento de suporte ao paciente, quando este está a executar os exercícios fisioterapêuticos.

Por norma, quando os pacientes estão a fazer fisioterapia num centro de reabilitação física, utilizam os equipamentos, obrigatoriamente aí existentes, normalmente, nos seus ginásios. Estes equipamentos, como é o caso da jaula de *rocher* ou da barra de apoio espaldar, auxiliam-nos nos diversos exercícios, tal como no caso das roldanas e noutros. Aqueles pacientes que têm problemas

de equilíbrio também fazem uso deles, para colmatarem as suas dificuldades.

O jogo sério projetado para a fisioterapia tem alguns requisitos para ser executado, tais como: área de ação do paciente; controlo do pano de fundo (deve ser o mais limpo possível, sem passagem de pessoas); equipamentos eletrónicos variados (computador, rato, teclado, televisor, colunas de som, etc.). Sendo assim, o ginásio de uma clínica de reabilitação física não é, de todo, o local mais indicado para se executar este jogo. De preferência, ele deve ser jogado numa sala multimédia, criada especificamente para o efeito. Seguindo esta lógica, a equipa de investigação teve que criar uma solução, num único equipamento, que cumprisse as funções da jaula de *rocher* e da barra de apoio espaldar, para os exercícios proporcionados pelo jogo.

A estrutura auxiliar construída baseia-se numa estrutura metálica tubular robusta e de fácil desmontagem (Figura 61 (a) e (b)). É constituído por duas roldanas, uma corda, dois mosquetões, seis parafusos de argola (Figura 61 (c)) e duas pegas com fitas de fixação em velcro (Figura 61 (e)). Este conjunto de equipamentos é utilizado, especificamente, para o exercício das roldanas. O sistema é facilmente adaptável a qualquer paciente, graças aos diversos pontos de fixação (argolas) dos mosquetões que possuem, por sua vez, as roldanas. Conforme a estatura física do doente, o profissional de saúde, pode alterar, facilmente os pontos de fixação (Figura 61 (d)).

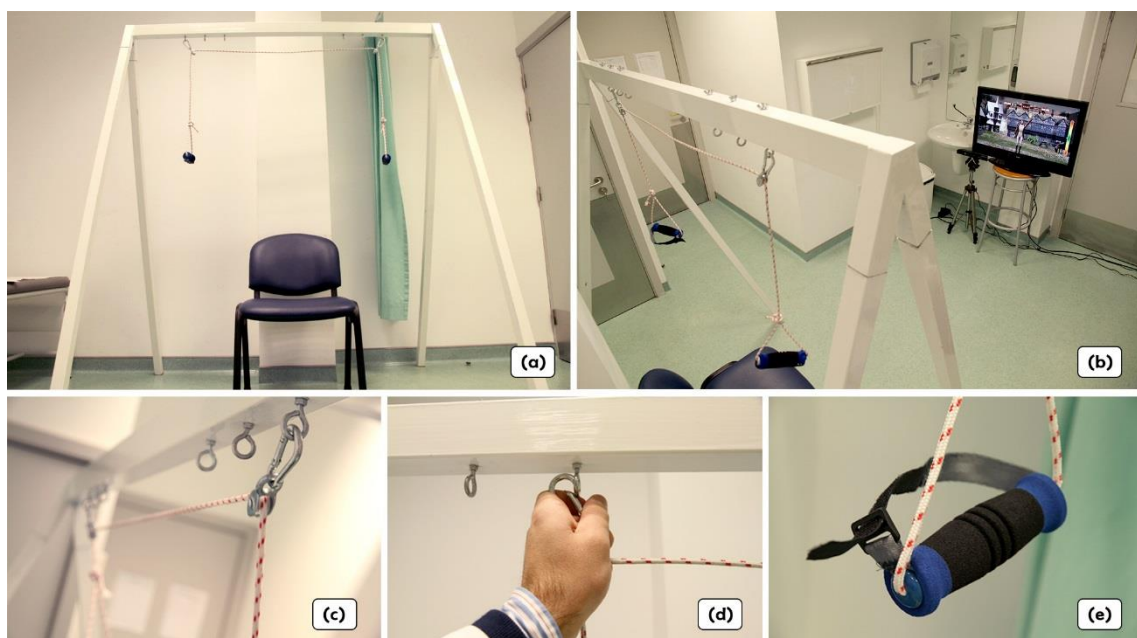


Figura 61 – Estrutura auxiliar de apoio à fisioterapia: (a) e (b) estrutura completa; (c) sistema mecânico de roldanas; (d) pontos de fixação dos mosquetões; (e) pega com fita de fixação de velcro

Com o avançar da investigação, verificou-se que o jogo deveria estar preparado para que o paciente

pudesse tomar diferentes posições de execução, tanto com equilíbrio como sem equilíbrio. Se ele tiver equilíbrio, pode jogar, normalmente, sem qualquer apoio (Figura 62 (a)), contudo, se tiver este tipo de problemas, pode contar com o apoio lateral direito ou esquerdo (Figura 62 (b)), ou com o apoio na barra superior (Figura 62 (c)) da estrutura auxiliar. Caso o paciente não tenha equilíbrio, pode optar por uma postura sentada, numa cadeira convencional (Figura 62 (d)) ou numa cadeira de rodas (Figura 62 (e)).

O esquema com a informação das dimensões da estrutura pode ser consultado no Anexo C.

É de realçar, também, que os pacientes poderão complementar os exercícios com braçadeiras de pesos ou elásticos, colocados tanto nos membros superiores, como nos inferiores.

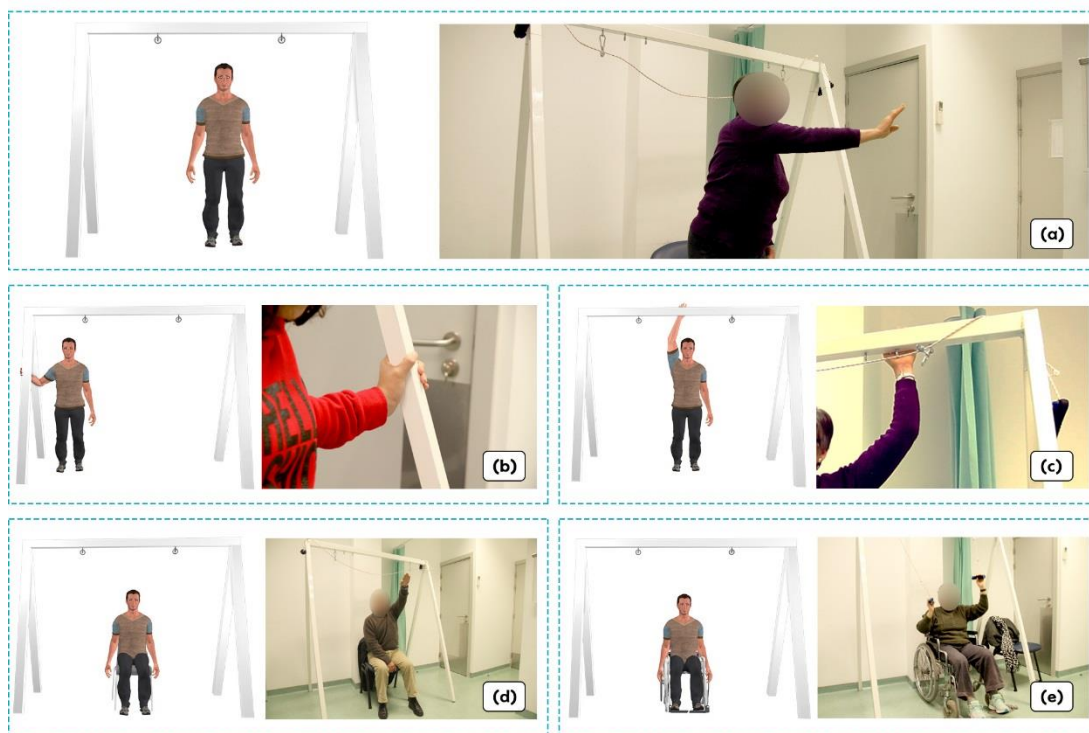


Figura 62 – Posturas na estrutura auxiliar: (a) normal, sem apoio; (b) apoio em barra lateral, (c) apoio na barra superior; (d) sentada em cadeira convencional; (e) sentada em cadeira de rodas

5.1.6. DISPOSITIVO MÓVEL

Durante o desenvolvimento deste projeto, surgiu a ideia de conceber um dispositivo móvel que agrupasse, num só equipamento, todos os elementos necessários para a execução do jogo proposto, com a finalidade de ser utilizado tanto em ambiente clínico, como em ambiente domiciliário, tendo em consideração aspetos ergonómicos e de usabilidade.

O investigador Orlando Lopes, no âmbito do seu mestrado em *design* e desenvolvimento de produto, participou no projeto do dispositivo móvel.

Numa primeira fase, a equipa de investigação fez o levantamento dos requisitos necessários para esse equipamento, do ponto de vista tecnológico. Posteriormente, o levantamento incidu em novos requisitos, agora do ponto de vista dos fisioterapeutas.

Desenvolveram-se três conceitos distintos A, B e C (Figura 63), que foram postos à prova dos potenciais utilizadores (fisioterapeutas), a fim de se verificar aquele que obtinha uma melhor aceitação por parte destes, tendo em consideração diversos parâmetros (Lopes et al., 2015; Lopes et al., 2016)).

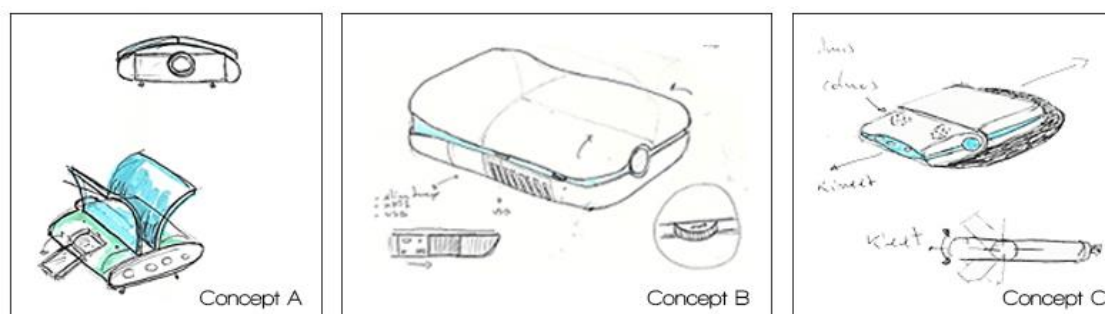


Figura 63 – Conceitos idealizados para o produto

Tendo sido o conceito C o mais valorizado pelos inquiridos, procedeu-se ao seu desenvolvimento e modelação (Figura 64) (Lopes et al., 2015).

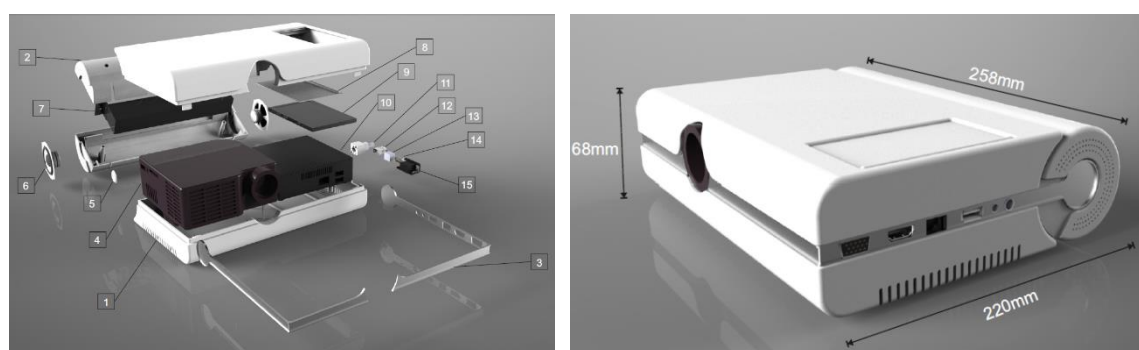


Figura 64 – Produto: (esquerda) componentes [1 – carcaça principal; 2 – carcaça cilindro; 3 – estrutura central; 4 – projetor; 5 – botão *on/off*; 6 – coluna; 7 – sensor *Kinect*; 8 – tampa do *touchpad*; 9 – *touchpad*; 10 – minicomputador; 11 – fonte de alimentação; 12 – *audio jack*; 13 – *interface* de rede; 14 – *interface* HDMI e USB; 15: *interface* VGA]; (direita) dimensões

Este equipamento é constituído por duas partes, uma que tem o formato de um cilindro, onde estão instalados as colunas e o sensor *Microsoft Kinect* e a outra com um formato de um prisma

retangular, onde estão instalados o videoprojetor, o microcomputador e o *touchpad* (Lopes et al., 2015).

O dispositivo permite ajustar o ângulo de projeção, assim como a posição do sensor 3D. Pode ser colocado num tripé, em cima de uma mesa ou noutro suporte, devendo estar entre o paciente e uma superfície de projeção. A distância entre o paciente e o dispositivo deve variar entre dois e três metros (Lopes et al., 2015).

Numa última fase, foi construído um protótipo não funcional do dispositivo, e foram realizados testes de usabilidade e validação com os potenciais utilizadores do dispositivo (Lopes et al., 2015).

Como se pode observar na Figura 65, o produto desenvolvido apresenta uma solução minimalista, portátil e menos volumosa.

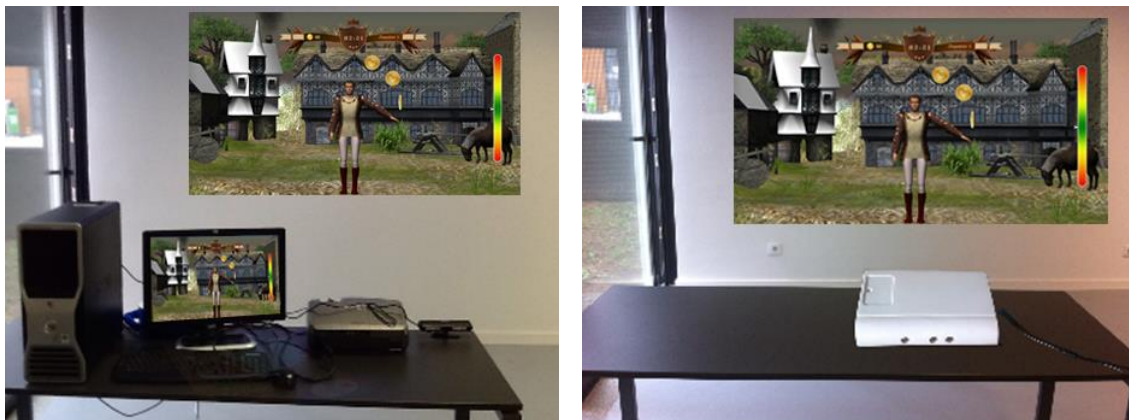


Figura 65 – Ambiente de utilização: (esquerda) tradicional; (direita) solução proposta

Este produto vem melhorar o potencial de utilização de jogos sérios para a reabilitação física. Pretende-se, com ele, tornar o manuseamento daqueles jogos, em ambiente clínico, ou domiciliário, de uma forma mais simples, cómoda e eficaz (Lopes et al., 2015).

O desenvolvimento detalhado deste produto pode ser consultado na dissertação de mestrado de Orlando Lopes (2015).

5.2. A Reter deste Capítulo

Desenvolveu-se uma solução integrada, baseada no jogo *Physioland*, numa API, responsável por estabelecer a comunicação entre o jogo e a base de dados central que está armazenada num servidor, num *backoffice*, numa estrutura auxiliar e num dispositivo móvel para utilização de jogos eletrónicos orientados para a fisioterapia, tanto em ambiente clínico como domiciliário.

Capítulo 6

METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia de investigação utilizada no decorrer do presente estudo, fazendo referência ao método de recolha de dados, equipamentos e materiais utilizados, bem como à descrição do procedimento experimental e tipos de análise a aplicar aos dados.

6.1. Referência aos Paradigmas de Investigação

Os três paradigmas de investigação mais referenciados são o quantitativo, o qualitativo e o sociocrítico. Koetting e Malisa, (2004) defendem que qualquer investigador encontra sempre a sua posição paradigmática num deles.

Para Saunders, Lewis, e Thornhill (2009) investigar é desenvolver conhecimento num determinado domínio, examinando fenómenos sociais e tentando compreendê-los e explicá-los. Segundo eles, o processo de investigação envolve uma sequência de etapas, assemelhando-se à extração, uma a uma, das sucessivas camadas de uma cebola (Figura 66).

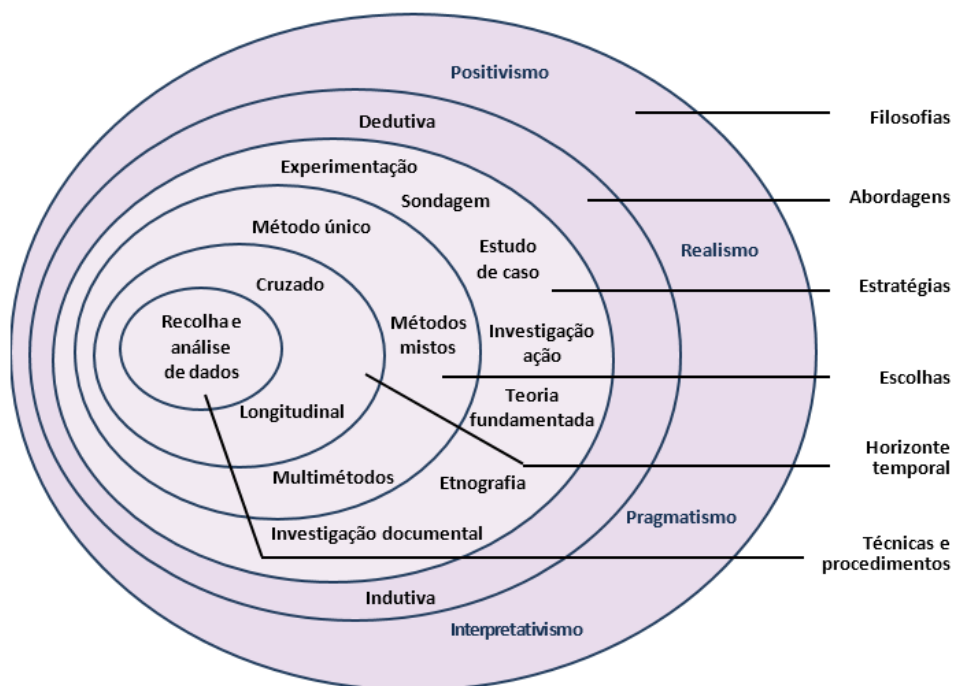


Figura 66 – A “Cebola” da Investigação. Adaptada de (Saunders et al., 2009)

A investigação em diferentes áreas de engenharia, nomeadamente na de engenharia de *software*, na qual se inclui o desenvolvimento de jogos eletrónicos, é relativamente recente, pelo que não consegue ser totalmente enquadrada em qualquer um dos paradigmas referidos. Por isso, para sistematizar o processo de desenvolvimento de *software*, surgiram novas metodologias baseadas em engenharia, que estão classificadas em dois paradigmas principais: o tradicional (com o modelo em cascata, o modelo por prototipagem e o modelo em espiral) e o ágil (Martins, Ramos, & Lopes, 2011; Moura, 2011; Ferreira, 2008).

Para este estudo, na parte que se refere ao desenvolvimento da solução deste projeto, cada etapa foi desenvolvida numa sequência de fases, que se repetiram ciclicamente. Em cada etapa foram construídos protótipos evolutivos ou descartáveis, até atingir o *software* final. Assim sendo, o paradigma de investigação utilizado nesta área do projeto foi o paradigma clássico, na sua versão de modelo em espiral.

No que se refere à experiência realizada e à interpretação de resultados, utilizando a terminologia de Saunders et al., pode dizer-se que a filosofia de investigação que serve os propósitos do presente projeto concorda com todos os aspetos epistemológicos, ontológicos e axiológicos do interpretativismo (Arnal, Rincón, & Latorre, 1994). De facto, um dos objetivos do presente estudo era motivar os pacientes neurológicos para a prática de fisioterapia tornando-se indispensável a compreensão das suas atitudes, ações e sentimentos. Com este conhecimento foi possível tornar o sistema cada vez mais orientado e mais interessante do ponto de vista do doente.

Desde o início se percebeu que as amostras a utilizar seriam de pequena dimensão, o que inviabilizaria o teste de hipóteses ou a generalização de resultados, afastando a possibilidade de uma abordagem dedutiva. Assim, restou a opção, para esta investigação, de uma abordagem indutiva. Como estratégia utilizou-se o estudo de caso, para tentar perceber, de uma forma mais profunda, um problema específico e tentar encontrar uma solução para ele.

Tal como acontece na maioria dos projetos de investigação correspondentes a programas académicos, também para o presente estudo houve limitações a nível de tempo, pelo que ele foi elaborado segundo um horizonte temporal transversal. O facto de não necessitar de dados numéricos para testar hipóteses ou proceder a generalizações de resultados, mas antes de dados descritivos para a compreensão dos significados que as pessoas atribuem às suas ações, justifica que a recolha e a análise de dados tenham incidido na linha qualitativa. Para a obtenção dos dados, recorreu-se às técnicas que se considerou serem capazes de proporcionar melhores oportunidades de responder às questões de investigação, nomeadamente a técnica de inquérito, concretizada através de questionário, complementada com a técnica de observação participante não estruturada (sem o apoio de nenhum instrumento de recolha de dados), que possibilitou registar ocorrências (comportamentos, interações ou acontecimentos) não planeadas. A preferência pelo questionário em relação à entrevista deve-se ao facto de este ser uma adaptação de um outro já validado – o TAM (*Technology Acceptance Model*). Pode dizer-se que várias razões contribuíram para que ele fosse o modelo de eleição entre os existentes: é um modelo específico para sistemas de informação;

é considerado um dos mais influentes e mais amplamente utilizados para descrever a aceitação de determinada tecnologia; tem uma forte base teórica, além do amplo apoio empírico através de validações, aplicações e replicações; tendo sido já testado com diferentes amostras e em situações diversas, provou ser válido e confiável e fornecer solidez para traçar, nos indivíduos, o impacto de fatores externos sobre os internos, em relação à aceitação ou não de tecnologia da informação (T. Pikkarainen, K. Pikkarainen, Karjaluoto, & Pahlila, 2004). Outra razão para se ter afastado a hipótese de entrevista foi a constatação de que os pacientes têm um discurso com pouco conteúdo, que não viria trazer valor acrescentado ao estudo, relativamente ao obtido através do questionário.

O TAM, como base do questionário elaborado, justifica, também, a utilização da escala de *Likert* de sete pontos.

Quanto à análise dos dados, ela foi realizada através das análises de opinião e de conteúdo, e do traçado de gráficos. E porque mais do que uma técnica foi utilizada, a escolha do método classifica este projeto como um estudo multimétodos qualitativo.

6.2. Equipamento e Software

Foram vários os *softwares* que se utilizaram durante toda a investigação.

O *Microsoft Visual Studio* foi o *software* de desenvolvimento utilizado para a programação da aplicação preliminar e do *PhysioSoft*. Ele permite a programação para a plataforma .NET, através de várias linguagens, das quais a C++ e a C# foram as utilizadas para programar, respetivamente, cada um dos referidos *softwares*.

O *Unity 3D* foi o motor de jogo utilizado para o desenvolvimento do *PhysioVinci* e, posteriormente, do *Physioland*. Possibilita o desenvolvimento de jogos em ambientes 3D e a programação em linguagem C#, a linguagem utilizada para o desenvolvimento do *PhysioSoft*. Permite também a utilização de *Javascript*, que é bastante flexível e possui bibliotecas com as quais é possível a integração do *Microsoft Kinect SDK*.

Entre os *softwares* utilizados para desenvolver as componentes gráficas do *Physioland*, destacam-se o *Blender*, uma ferramenta *open-source* complexa, mas versátil, para o desenvolvimento 3D; o *Adobe Fuse*, para a criação de personagens e respetivas composição, texturização, renderização e *skinning*; o Adobe Photoshop, para a texturização e criação de elementos 2D da interface gráfica; o *iClone Pro*, para a animação; o *iClone 3dXchange*, para o *rigging* e exportação dos modelos para o *Unity 3D*.

Para o processo sonoplástico do *Physioland*, utilizou-se o *software Steinberg Cubase*, um poderoso *workstation* de áudio, e a edição de vídeo foi conseguida com o *Adobe Premiere Pro*, um *software* profissional de edição de conteúdos audiovisuais.

O *backoffice* e a API foram desenvolvidos com recurso ao *Adobe Dreamweaver*, um editor poderoso voltado para as linguagens da *web*. Para os testar, recorreu-se ao pacote de *software* Wamp, uma combinação que constitui uma das soluções mais utilizadas pela comunidade: *Apache*, para servidor *web*, *MySQL*, gestor de base de dados relacionais; PHP, como interpretador de linguagem *server-side*.

Em relação ao servidor remoto, escolheu-se um sistema operativo baseado numa distribuição de *Linux*, o *CentOS*. Para além de ser um sistema operativo *open-source*, sob licença GPL (*General Public License*), tem sido uma das distribuições baseadas em *Linux* com maior aceitação para o fim que se pretende. A nível de serviços *web* (*web services*), foi utilizada a solução *LAMP*, uma versão de *Wamp*, para *Linux*. Tal como o sistema operativo *CentOS*, estes *softwares* também são gratuitos e *open-source*.

No decorrer desta investigação, foram vários os equipamentos e materiais utilizados. São eles: um computador, um sensor *Kinect* da *Microsoft*, um tripé, um televisor, uma estrutura auxiliar de apoio à fisioterapia, com roldanas, uma câmara fotográfica e de vídeo, um bloco de notas e uma caneta (Figura 67).

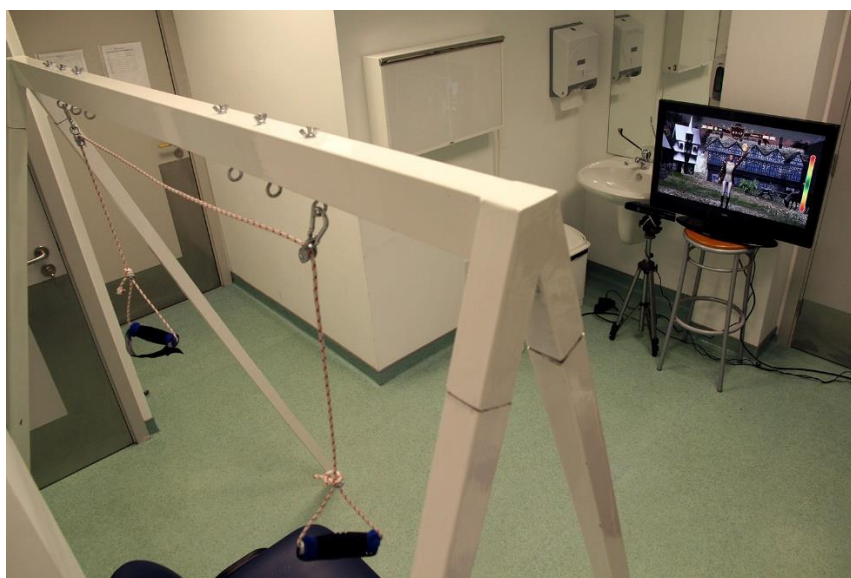


Figura 67 – Aspeto geral da instalação de alguns materiais e equipamentos

O desenvolvimento de *software* não pode dispensar o computador, pois exige a realização de testes frequentes, para verificar a sua funcionalidade. Assim, ele foi imprescindível para acompanhar,

passo a passo, toda a programação do jogo. E mais uma vez a presença do computador se tornou obrigatória para a execução do *Physioland*, quando este foi sujeito à experimentação, por parte dos intervenientes neste estudo.

Sendo um dispositivo capaz de detetar o sistema esquelético humano e as suas articulações, permitindo não só a captura de movimentos, mas também a distinção dos diversos utilizadores, o sensor *Kinect* da *Microsoft* foi utilizado, com cada paciente, para fazer a monitorização dos exercícios fisioterapêuticos adaptados a situações de jogo. Para proporcionar apoio que garantisse estabilidade a este sensor e permitisse a sua localização à altura desejada, recorreu-se a um tripé.

O televisor foi a interface de visualização e som, permitindo, ao utilizador, a sua interação com o jogo. A estrutura auxiliar de apoio à fisioterapia, com roldanas, tal como o nome indica, foi utilizado para facultar apoio aos pacientes, enquanto praticam os exercícios de fisioterapia, e particularmente para a realização do exercício que combina a abdução/adução da articulação glenoumeral com a flexão/extensão radioumeral, movimento este que obriga à utilização de roldanas.

A finalidade do uso da câmara fotográfica e de vídeo, do bloco de notas e da caneta foi o registo dos dados resultantes da observação direta, feita pelo investigador.

6.3. Caraterização das Amostras

Na investigação, depois de formulado o problema que a fundamenta, torna-se necessário definir o público-alvo, ou seja, a população sobre a qual incidirá o estudo a levar a cabo.

A experiência para a avaliação do jogo *Physioland*, quer pelos profissionais de saúde, quer pelos pacientes com doenças neurológicas, foi realizada no Centro de Fisioterapia da Santa Casa da Misericórdia de Arouca, situado na localidade de Arouca.

O tipo de amostragem utilizado foi a amostragem não probabilística por conveniência. De facto, a maioria dos profissionais de saúde do referido centro, e os pacientes com doenças neurológicas em estado ligeiro ou moderado da doença e com horários compatíveis disponibilizaram-se para participarem na experiência. Constituíram-se, deste modo, duas amostras, uma para cada tipo de participantes.

6.3.1. PROFISSIONAIS DE SAÚDE

Foi com base nos itens da primeira parte do questionário que se se procedeu à caraterização da amostra constituída pelos doze profissionais de saúde. Relativamente a eles, tais itens referem-se à

faixa etária, sexo, habilitações literárias e profissão que exercem.

Os profissionais de saúde que se prontificaram a dar o seu contributo para esta investigação exercem a sua profissão no centro de fisioterapia que atrás foi referido. Num total de doze, são sete (58,3%) do sexo masculino, e os restantes cinco (41,7%) do sexo feminino.

Como resposta ao primeiro item, seis deles (50%) situam as suas idades entre 25 e 34 anos. Da outra metade, cinco (41,7%) têm idades entre 35 e 44 anos, e só para um (8,3%) a idade se situa na faixa etária dos 45 aos 64 anos. É de referir que este último tem menos de 50 anos de idade. Como era de esperar, não existem elementos da amostra nas classes extremas (não superiores a 14 anos e não inferiores a 65 anos), uma vez que estas correspondem a crianças e a aposentados, que, por conseguinte, não estão a desempenhar uma profissão.

Prosseguindo para as habilitações literárias, nesta amostra há dois elementos (16,7%) que completaram o décimo segundo ano e os restantes dez (83,3%) possuem um curso superior. Graças às suas habilitações, dois deles conseguiram colocar-se profissionalmente como técnicos de fisioterapia, cinco são fisioterapeutas e os outros cinco exercem a profissão de médicos fisiatras.

Em suma, trata-se de uma amostra bastante jovem, constituída maioritariamente, por elementos do sexo masculino, com habilitações literárias de nível médio e superior e, tal como se pretendia, exercendo profissões na área da reabilitação física.

6.3.2. PACIENTES

Também para os pacientes, foram os dados colhidos na primeira parte do questionário que proporcionaram a caracterização da amostra composta por onze elementos. Os itens que constituem esta parte dizem respeito à idade, sexo, habilitações literárias e doenças que determinaram as suas incapacidades.

Os dados recolhidos pelos questionários preenchidos pelos pacientes com doenças neurológicas, em estado ligeiro ou moderado, permitem observar que há três faixas etárias – dos 15 aos 24 anos, dos 25 aos 34 anos e dos 45 aos 64 anos – cada uma das quais inclui dois participantes (18,2%), havendo mais cinco intervenientes (45,4%) com idades não inferiores a 65 anos, o que totaliza uma amostra de onze participantes. Tal como aconteceu com a amostra dos profissionais de saúde, não existem elementos na faixa extrema esquerda (idades não superiores a 14 anos). Porém, contrariamente à amostra anterior, a maioria dos pacientes tem idades não inferiores a 65 anos.

Destes onze elementos, quatro (36,4%) são do sexo masculino e os restantes sete (63,6%) do sexo feminino.

Quanto às habilitações literárias, seis dos participantes (54,5%) abandonaram os seus percursos académicos no final do primeiro ciclo, três (27,3%) prosseguiram até completarem o terceiro ciclo e apenas dois (18,2%) conseguiram concluir o ensino secundário.

No que respeita às doenças que os atingiram, seis (54,5%) foram vítimas de AVC, três (27,3%) têm diagnóstico de doença de Strumppell-Lorrain, um (9,1%) teve meningite, e a prematuridade de um outro causou-lhe diplegia espástica. As sequelas deixadas por estas doenças e que os trazem ao centro de reabilitação física são: hemiparesia (seis), paraparesia (três), hemidistonia (um), síndrome cerebeloso (um), diplegia (um) e hemi-hipostesia (um). De referir que alguns pacientes apresentam mais do que uma incapacidade.

6.4. Questionário

Interessava recolher a opinião de pacientes, mas também de profissionais de saúde, sobre diversos aspetos do jogo, para que este pudesse ser validado. Como se acabou de referir, o único instrumento de recolha de dados que se utilizou nesta investigação foi o questionário, por ter sido considerado o mais adequado à população em estudo, sobretudo à parte que se refere aos pacientes. Na sua elaboração, procurou-se que cada item que o constitui obedecesse aos critérios de objetividade, de simplicidade, de relevância e de clareza.

Embora ligeiras diferenças se possam encontrar na redação ou no conteúdo de uma ou de outra questão, é praticamente idêntica a estrutura dos questionários aplicados aos profissionais de saúde ou aos pacientes, sendo, qualquer deles, composto por três partes.

A primeira parte, caracterização dos respondentes, destinou-se à recolha de dados relativos à idade, ao sexo e às habilitações literárias, e, no caso dos profissionais de saúde, ao tipo de profissão que exercem (Figura 68 e Figura 69). É de referir que as idades se encontram agrupadas em faixas etárias como as que estão definidas em documentos do Instituto Nacional de Estatística.

QUESTIONÁRIO

1. Nome: _____

2. Idade:

Menos de 15 anos Entre 14 e 24 anos Entre 25 e 34 anos Entre 35 e 44 anos Entre 45 e 65 anos Mais de 65 anos

4. Sexo: Masculino ☐ Feminino ☐

5. Habilitações literárias: 1º Ciclo ☐ 2º Ciclo ☐ 3º Ciclo ☐ 12º Ano ☐ Superior ☐

6. Cargo:

Médico Fisiatra Fisioterapeuta Técnico de Fisioterapia

Figura 68 – Caraterização da amostra dos Profissionais de Saúde

QUESTIONÁRIO

1. Idade:

Menos de 15 anos Entre 14 e 24 anos Entre 25 e 34 anos Entre 35 e 44 anos Entre 45 e 65 anos Mais de 65 anos

3. Sexo: Masculino ☐ Feminino ☐

4. Habilitações literárias: 1º Ciclo ☐ 2º Ciclo ☐ 3º Ciclo ☐ 12º Ano ☐ Superior ☐

Figura 69 – Caraterização da amostra dos pacientes

A segunda parte, usabilidade e satisfação, compreende um total de vinte e quatro itens, distribuídos por três grupos. Nesta parte, foi utilizada a escala de *Likert*, de sete pontos, com a qual se procurou situar a opinião de cada respondente numa escala bipolar, com os níveis de afirmação “extremamente”, “bastante” e “ligeiramente”, a partir de cada polo (“concordo” e “discordo”, à esquerda e à direita, respetivamente), e apresentando, no centro, o nível de afirmação “nada”. Pedia-se ao participante que assinalasse a opção que melhor se adequasse ao seu nível de concordância. Houve o cuidado de inverter a redação de alguns itens, para evitar respostas automáticas.

O grupo A é composto por sete itens, com os quais se pretendeu obter informações associadas à facilidade de uso do *Physioland* (Figura 70).

FU1. É difícil pôr em prática as instruções fornecidas para começar a jogar.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU2. O procedimento até começar a jogar é intuitivo.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU3. É fácil o posicionamento correto para iniciar o jogo.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU4. É fácil interpretar os exercícios propostos pelos vídeos.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU5. É fácil a execução dos exercícios propostos pelos vídeos.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU6. É clara e compreensível a minha interação com o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU7. É fácil aprender a funcionar com o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

Figura 70 – Itens do grupo A dos questionários

O grupo B tem também sete itens, relacionados com a aparência e *performance* do jogo (Figura 71).

AP1. A aparência do *Physioland* é apelativa.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

AP2. A aparência está adequada ao objetivo do *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

AP3. A parte sonora é agradável e adequada ao *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

AP4. O *Physioland* funciona bem.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

AP5. As animações do *Physioland* são interessantes.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

AP6. A adaptação de movimentos fisioterapêuticos a situações de jogo eletrônico foi bem conseguida, no *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

AP7. O *Physioland* tem elementos que desviam o jogador da prática correta dos exercícios propostos.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

Figura 71 - Itens do grupo B dos questionários

O grupo C inclui os restantes dez itens, relativos à satisfação de uso. Os primeiros quatro são comuns às duas amostras (Figura 72).

SU1. O *Physioland* é interessante.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU2. Usar o *Physioland* é agradável.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU3. É divertido jogar o *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU4. Seria útil usar o *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

Figura 72 - Itens do grupo C, comuns, aos dois questionários

As variáveis que foram designadas por SU5, SU6 e SU7, embora sejam comuns aos dois questionários, apresentam redações ligeiramente diferentes, de forma a enquadrarem-se no ponto de vista dos profissionais de saúde (Figura 73) ou no dos pacientes (Figura 74).

PROFISSIONAIS DE SAÚDE	
SU5. O <i>Physioland</i> seria desafiante para os pacientes.	
Concordo	Discordo
<div> <div>Extremamente</div> <div>Bastante</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Nada</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Bastante</div> <div>Extremamente</div> </div>	
SU6. O <i>Physioland</i> poderia incentivar os pacientes a concluírem os exercícios propostos.	
Concordo	Discordo
<div> <div>Extremamente</div> <div>Bastante</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Nada</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Bastante</div> <div>Extremamente</div> </div>	
SU7. O <i>Physioland</i> poderia ajudar o paciente a abstrair-se da terapêutica que está a realizar.	
Concordo	Discordo
<div> <div>Extremamente</div> <div>Bastante</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Nada</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Bastante</div> <div>Extremamente</div> </div>	

Figura 73 - Itens do grupo C, com redação para os profissionais de saúde

PACIENTES	
SU5. O <i>Physioland</i> desafia-me a concluir qualquer exercício.	
Concordo	Discordo
<div> <div>Extremamente</div> <div>Bastante</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Nada</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Bastante</div> <div>Extremamente</div> </div>	
SU6. O <i>Physioland</i> incentiva-me a concluir os exercícios propostos.	
Concordo	Discordo
<div> <div>Extremamente</div> <div>Bastante</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Nada</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Bastante</div> <div>Extremamente</div> </div>	
SU7. Com o <i>Physioland</i> esqueço-me que estou a fazer fisioterapia.	
Concordo	Discordo
<div> <div>Extremamente</div> <div>Bastante</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Nada</div> <div>Ligeiramente</div> <div>Bastante</div> <div>Extremamente</div> </div>	

Figura 74 - Itens do grupo C, com redação para os pacientes

Os três últimos itens do grupo C foram definidos especificamente para cada uma das amostras (Figura 75 e Figura 76).

SU8. O *Physioland* poderia desmotivar os pacientes, nas suas sessões de fisioterapia.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU9. Se existisse no mercado, compraria/recomendaria o *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU10. Recomendaria a utilização do *Physioland* nas sessões de fisioterapia com os pacientes.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

Figura 75 – Itens específicos do questionário dos profissionais de saúde

SU8. Gosto mais das sessões de fisioterapia tradicional.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU9. Procuro atingir maior pontuação, cada vez que utilizo o *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

SU10. Sinto prazer a jogar o *Physioland*.

Concordo								Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

Figura 76 - Itens específicos do questionário dos pacientes

Ambos os questionários terminam com a terceira parte, apreciação do *Physioland*, composta por sete questões de resposta aberta, que foram utilizadas para permitirem que os respondentes tivessem possibilidade de se expressarem livremente sobre certos aspetos e funcionalidades do jogo desenvolvido.

6.5. Procedimento Experimental

Tendo sido o objetivo primário deste estudo o desenvolvimento de um jogo sério, para motivar e monitorizar os pacientes neurológicos, na sua prática de fisioterapia, recorrendo a técnicas de processamento de imagem, houve a necessidade de se perceber mais sobre os planos fisioterapêuticos prescritos a estes pacientes. Nesse sentido, contactaram-se os responsáveis de algumas clínicas de fisioterapia, no sentido de agendar reuniões com os profissionais de saúde nesta área, para se perceber quais os exercícios fisioterapêuticos transversais a um maior número de doenças neurológicas.

De referir que, inicialmente, este projeto começou por ser destinado exclusivamente a uma doença

neurológica: Ataxia de Friedreich. Tratando-se de uma doença rara, logo nas primeiras reuniões com os profissionais de saúde, estes foram alertando para a dificuldade de encontrar um número suficiente de doentes que permitisse fazer um estudo. Portanto, os mesmos propuseram alargar o público-alvo para doentes neurológicos em estado ligeiro a moderado, uma vez que aqueles que se encontram num estado mais avançado têm pouca mobilidade e equilíbrio, o que os impediria de executar um jogo, por muito fácil que fosse.

Um projeto desta natureza envolve clínicas, pacientes, profissionais de reabilitação física, o que implica protocolos entre entidades, e vários pedidos de autorização. No caso presente, estabeleceu-se um protocolo de cooperação entre a Universidade do Minho e a Santa Casa da Misericórdia de Arouca (Anexo D). Os pedidos de autorização para a realização dos testes preliminares e finais foram feitos à comissão de ética da Santa Casa da Misericórdia de Arouca (Anexo E); aos pacientes foi necessário solicitar uma autorização, envolvendo uma assinatura sua ou do seu encarregado de educação, de um termo de consentimento informado (Anexo F).

Depois de uma análise aprofundada, quer relativamente à forma como são realizados os diferentes exercícios fisioterapêuticos, quer na área do processamento de imagem, conforme referido anteriormente, escolheram-se seis deles que são suscetíveis de ser monitorizados através das referidas técnicas e de serem adaptados a situações de jogo eletrónico.

Adotou-se a estratégia da investigação-ação, uma investigação ativa que considera o processo de investigação em espiral ou de forma cíclica, consistindo na definição do contexto e do objetivo como etapa preliminar, seguindo-se ciclicamente o diagnóstico, a planificação, a ação e a avaliação (em laboratório ou em ambiente clínico). Por outras palavras, à medida que se foi desenvolvendo cada etapa deste projeto, foi-se experimentando, para se confirmar se respondia às exigências do mesmo, isto é, para se detetar a possível existência de lacunas. Cada vez que estas surgiam, para se proceder à sua correção, repetia-se o ciclo (diagnóstico, planificação, ação, avaliação), até que a etapa desenvolvida correspondesse ao objetivo esperado. Uma vez completa, passou-se a outra etapa do projeto, cujo desenvolvimento seguiu os mesmos passos da anterior. E a repetição do mesmo ciclo foi ocorrendo no desenvolvimento de cada etapa do projeto, até que este se desse por concluído.

Procedeu-se também à realização dos testes finais em ambiente clínico, de maneira a poder validar o jogo desenvolvido, quer por parte dos profissionais de saúde, quer dos pacientes.

A realização destes testes implicou alguns requisitos de espaço, nomeadamente uma sala específica para o efeito (Figura 77), com uma bancada de trabalho para a utilização do computador, uma cadeira convencional para o paciente, uma estrutura auxiliar com o sistema de roldanas, um televisor

e respetivo suporte, um sensor *Microsoft Kinect* e um tripé. A área para o paciente executar os exercícios e para os equipamentos atrás referidos devia encontrar-se na ordem dos seis metros quadrados (3,75 metros por 1,60 metros). A sala também deveria garantir uma área para o investigador e para o responsável pelo paciente. A Santa Casa da Misericórdia de Arouca garantiu uma sala com as condições desejadas.

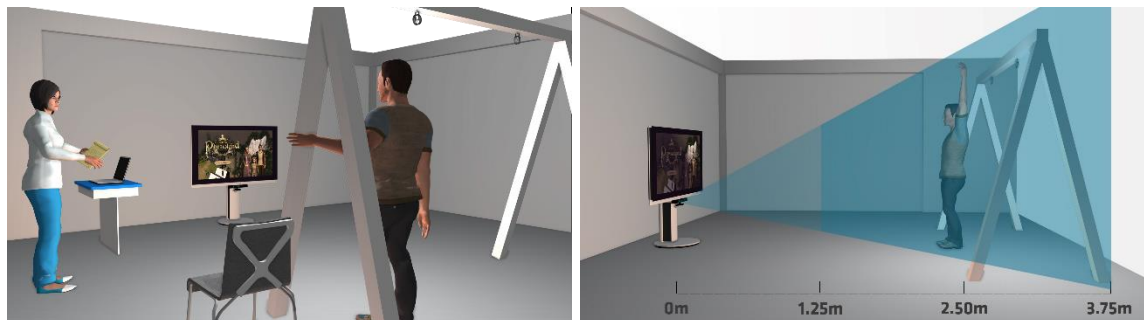


Figura 77 – Sala específica para realização dos testes do *Physioland*

Os testes finais com os profissionais de saúde, para apreciação do *Physioland*, decorreram durante uma semana, tendo em conta a disponibilidade de cada um deles. Individualmente, foram elucidados acerca do conceito geral e dos objetivos do *Physioland*. Pediu-se-lhes para se colocarem numa posição inicial e mostrou-se-lhes um vídeo com um dos exercícios que deveriam executar, após o que se lhes explicou o procedimento a seguir para cumprirem o objetivo do nível do jogo que utiliza esse exercício. O mesmo foi efetuado com os restantes níveis do jogo.

Terminada a experimentação do jogo, apresentou-se-lhes o questionário utilizado como instrumento de recolha de dados (Anexo G).

Inicialmente prevista para oito semanas, as ausências ocasionais de um ou outro participante obrigaram a prolongar para dez semanas a duração da experiência levada a cabo com os pacientes, que constituíam, inicialmente, uma amostra de quinze elementos. Contudo, dois deles, sendo muito faltosos, deixaram de interessar ao estudo; outros dois terminaram os seus programas de fisioterapia e aguardavam a sua renovação, que não chegou a ser concretizada dentro do período de realização dos testes. O grupo de pacientes ficou, assim, reduzido a onze participantes.

Cada paciente utilizou o jogo em duas sessões semanais de fisioterapia, com a duração unitária de cerca de trinta minutos, num total que variou entre doze e quinze sessões, durante as quais o investigador foi tirando notas que considerava relevantes. Em cada sessão, o paciente executou diversos desafios, cada um dos quais com a duração de cinco minutos ou dois minutos e meio, conforme o plano fisioterapêutico de cada um. Inicialmente previa-se que, na primeira sessão

semanal, cada paciente exercitasse metade dos exercícios que faziam parte do seu programa e que eram disponibilizados pelo jogo, executando os restantes na segunda sessão da semana. Contudo isto não aconteceu, porque os exercícios a realizar durante cada sessão estavam dependentes da indicação do profissional de saúde responsável pelo paciente, que tinha em atenção o estado físico do mesmo, naquele momento. Na primeira sessão de cada exercício procedeu-se, com os pacientes, de modo semelhante ao que havia sido utilizado com os profissionais de saúde, no sentido de se lhes dar as indicações necessárias para eles compreenderem os exercícios a executar e as respetivas dinâmicas dos níveis do jogo. Na última sessão, foi-lhes apresentado o questionário para se conhecer as suas opiniões a respeito do *Physioland* (Anexo H).

A elaboração dos questionários ocorreu ainda antes do começo da experiência com o jogo. Como qualquer instrumento de recolha de dados, ele próprio necessitou de ser validado, pelo que se recorreu a dez pessoas saudáveis que, de bom grado, se prontificaram a experimentar o jogo, para poderem dar resposta aos itens formulados. Este procedimento teve a finalidade de verificar se estes se encontravam redigidos de forma imparcial e perceptível, e averiguar a sua correção sintática e semântica. Com base nas sugestões dos inquiridos, houve oportunidade de se proceder a alguns ajustamentos, particularmente à eliminação dos que pareciam gerar redundância de informação, ou à sua substituição por outros julgados mais relevantes. E sempre que se achou necessário, uma nova redação lhes foi dada, de forma a proporcionar-lhes maior objetividade e compreensão.

Para legitimar o inquérito por questionário, num primeiro encontro com as pessoas que iriam participar na experiência, deu-se-lhes a conhecer os objetivos e os procedimentos da pesquisa e pediu-se a sua ajuda, salientando-se a pertinência da sua colaboração para o êxito do projeto, assegurando-se o anonimato e garantindo-se o carácter confidencial das informações concedidas, que seriam utilizadas apenas nesta investigação

6.6. Análise dos Dados

A forma de tornar compreensíveis os materiais recolhidos consistiu em analisar as informações que eles representam. Assim sendo, os dados recolhidos foram sujeitos à análise que se considerou mais adequada. As reduzidas dimensões das amostras, que foram as possíveis, inviabilizaram a utilização de estatística inferencial, fosse para confirmar hipóteses ou para generalizar resultados, isto é, afastaram a possibilidade de uma análise quantitativa. Num universo tão extenso como o dos profissionais de fisioterapia, e maior ainda o dos pacientes com doenças neurológicas, nenhuma

delas poderia ser significativa e representativa, duas características que se exigem a uma amostra capaz de conduzir a um estudo que aplica técnicas multivariadas.

Assim, foi efetuada uma análise qualitativa, com a qual se pretendeu conhecer a opinião dos participantes sobre determinados aspetos do jogo, para o que se utilizou um questionário maioritariamente em escala de *Likert* de sete pontos, que é exatamente uma escala de opinião, mas integrando, também, algumas questões de resposta aberta.

Para a parte da escala de *Likert*, a análise consistiu em calcular as percentagens, em cada item, das diversas opiniões dos respondentes, que foram registadas em tabelas, e em comparar as que foram obtidas nas duas amostras, no sentido de se detetar possíveis diferenças entre elas.

No que se refere às questões de resposta aberta, fez-se uma análise de conteúdo, procedendo-se a uma primeira leitura dos dados em bruto, no sentido de se organizar os materiais de que se dispunha, de modo a possibilitarem a descoberta de aspetos importantes, que pudessem revelar padrões e regularidades. As opiniões que se consideraram relevantes foram assinaladas, para constituírem um sistema de categorização. Novas leituras foram levadas a cabo para inserir a informação recolhida na respetiva categoria do sistema definido, anotando-se o número de ocorrências de cada uma delas.

As notas registadas no bloco de notas foram de extrema importância para confirmarem as afirmações dos participantes.

Há ainda a acrescentar os dados recolhidos pelo *software*, relativos apenas a pacientes, que foram tratados através do traçado de gráficos, uma forma de redução de dados que permite examinar a *performance* e a pontuação conseguidas por cada paciente, em cada exercício, e que variavam, de sessão para sessão, ao longo da sua experiência com o jogo, não necessariamente para significar melhorias da parte dele.

6.7. A Reter deste Capítulo

O paradigma utilizado neste estudo, na parte que se refere à área de engenharia, foi o paradigma clássico, na sua versão de modelo em espiral. Já na área das ciências sociais, o interpretativismo foi a filosofia adotada, tendo-se seguido uma abordagem indutiva, através da estratégia do estudo de caso, que foi ocorrendo segundo um horizonte temporal transversal. A recolha de dados foi feita através da técnica do inquérito, utilizando como instrumento o questionário, e da observação não estruturada, tratando-se de um estudo multimétodos qualitativo. Foram apresentadas as justificações de todas estas opções.

O questionário utilizado, quer para os profissionais de saúde, quer para os fisioterapeutas, é composto por três partes: a primeira relativa à caracterização das amostras, feita neste capítulo; a segunda, baseada numa escala de *Likert*; a terceira com questões de resposta aberta.

Apresentou-se uma descrição dos *softwares*, bem como dos equipamentos e dos materiais utilizados, e o procedimento experimental, quer no que se refere ao desenvolvimento do jogo, quer no que respeita à experiência com os pacientes. Por fim, foi referida a forma como foi feita a análise dos diferentes tipos de dados recolhidos.

Capítulo 7

RESULTADOS – ANÁLISE E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos pelas questões de escolha múltipla presentes nos inquéritos aos profissionais de saúde e aos pacientes, avaliando-se a facilidade de uso, a apreciação da aparência e da *performance*, e a satisfação do uso do jogo *Physioland*. Também a análise de conteúdo relacionada com as questões de resposta aberta, bem como a análise e a discussão dos dados recolhidos pelo *software*, complementados com a observação direta dos pacientes, são abordados neste capítulo.

7.1. Usabilidade e Satisfação

Esta secção apresenta o estudo realizado aos profissionais de saúde e aos pacientes, nos três grupos do questionário (A, B, C), no que se refere, respetivamente, à facilidade de uso, à apreciação da aparência e da *performance*, e à satisfação do uso do jogo *Physioland*.

O procedimento que se considerou suscetível de ser aplicado consistiu na comparação, sempre que possível, das percentagens obtidas para cada uma das variáveis constantes nos diferentes grupos do questionário, relativamente às opiniões dos profissionais de saúde e dos pacientes. Sempre que se considerou necessário, fez-se um cruzamento de dados, para tornar o estudo mais completo e perceptível.

7.1.1. GRUPO A – FACILIDADE DE USO

Este grupo é composto por sete itens, todos eles direcionados para o estudo da facilidade de uso do *Physioland*, e que constam da Figura 78.

A. Facilidade de Uso

- FU1.** É difícil pôr em prática as instruções fornecidas para começar a jogar.
- FU2.** O procedimento até começar a jogar é intuitivo.
- FU3.** É fácil o posicionamento correto para iniciar o jogo.
- FU4.** É fácil interpretar os exercícios propostos pelos vídeos.
- FU5.** É fácil a execução dos exercícios propostos pelos vídeos.
- FU6.** É clara e compreensível a minha interação com o *Physioland*.
- FU7.** É fácil aprender a funcionar com o *Physioland*.

Figura 78 – Itens do grupo A dos questionários

As percentagens obtidas para as variáveis deste grupo podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Percentagens relativas às variáveis do grupo A

	Opinião	FU1(%)	FU2(%)	FU3(%)	FU4(%)	FU5(%)	FU6(%)	FU7(%)
Profissionais de Saúde	C. Ext.	0	50	58,3	66,7	66,7	83,3	83,3
	C. Bast.	0	41,7	25	33,3	33,3	16,7	16,7
	C. Lig.	0	8,3	16,7	0	0	0	0
	Ind.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Lig.	8,3	0	0	0	0	0	0
	D. Bast.	16,7	0	0	0	0	0	0
	D. Ext.	75	0	0	0	0	0	0
Pacientes	C. Ext.	0	100	90,9	90,9	100	100	100
	C. Bast.	0	0	9,1	9,1	0	0	0
	C. Lig.	0	0	0	0	0	0	0
	Ind.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Lig.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Bast.	9,1	0	0	0	0	0	0
	D. Ext.	90,9	0	0	0	0	0	0

Legenda: C. Ext. – Concordo extremamente; C. Bast – Concordo bastante; C. Lig. – Concordo ligeiramente; Ind. – Indiferente; D. Lig. – Discordo ligeiramente; D. Bast. – Discordo bastante; D. Ext. – Discordo extremamente.

A variável FU1 é a que, neste grupo A do questionário tem redação invertida, o que levou os profissionais de saúde e os pacientes a marcarem as suas opiniões, respetivamente, nos três ou dois níveis da parte direita da escala, correspondente ao polo “discordo”. Nenhuma marcação aparece nos restantes níveis da escala, revelando que nenhum dos participantes mostrou dificuldade em pôr em prática as instruções para iniciar o jogo. A percentagem que recaiu no nível “discordo extremamente” é maior no caso dos pacientes, o que não se esperava, tendo em atenção o espectro de idades e as habilitações literárias, quando comparados com os dos profissionais de saúde.

Para todas as outras variáveis, as percentagens mais elevadas recaíram no nível “concordo extremamente”, em ambas as amostras. Houve mesmo unanimidade, por parte dos pacientes relativamente às variáveis FU2, FU5, FU6 e FU7. Seguem-se com valores menores que os anteriores, as percentagens correspondentes ao nível “concordo bastante”. Nenhum dos elementos inquiridos, fosse de uma ou de outra amostra, assinalou qualquer outra opinião, ou seja, foram iguais a zero as percentagens obtidas para os níveis de discordância, bem como para o nível central.

Considerando, em particular a amostra dos pacientes, uma vez que abrange um largo espectro de idades, poderia esperar-se que os mais idosos manifestassem alguma dificuldade com o uso da

nova tecnologia. No entanto, tal não aconteceu. Também não foram relevantes as diferenças entre as percentagens conseguidas no grupo dos profissionais de saúde e no dos pacientes que foram alvo da experiência levada a cabo, quer fossem do sexo masculino ou feminino, e quaisquer que fossem as suas habilitações literárias.

Em suma, independentemente da amostra a que pertencia, da idade, do sexo ou das habilitações literárias, nenhum interveniente sentiu dificuldade em pôr em prática as instruções fornecidas para utilizar o sistema, todos concordaram que é intuitivo o procedimento até começar a jogar, e consideraram ser fácil posicionar-se para iniciar o jogo, interpretar e executar os exercícios, interagir com o jogo e aprender a funcionar com ele.

7.1.2. GRUPO B – APARÊNCIA E PERFORMANCE

No questionário incluiu-se um grupo B com sete itens, para se conhecer a opinião dos participantes relativamente à aparência e à *performance* do *Physioland*, e que pode observar-se na Figura 79.

B. Aparência e Performance

AP1. A aparência do *Physioland* é apelativa.

AP2. A aparência está adequada ao objetivo do *Physioland*.

AP3. A parte sonora é agradável e adequada ao *Physioland*.

AP4. O *Physioland* funciona bem.

AP5. As animações do *Physioland* são interessantes.

AP6. A adaptação de movimentos fisioterapêuticos a situações de jogo eletrónico foi bem conseguida, no *Physioland*.

AP7. O *Physioland* tem elementos que desviam o jogador da prática correta dos exercícios propostos.

Figura 79 - Itens do grupo B dos questionários

Para as variáveis do grupo B, obtiveram-se, por parte dos profissionais de saúde e dos pacientes as percentagens que constam da Tabela 7.

Tabela 7 - Percentagens relativas às variáveis do grupo B

	Opinião	AP1(%)	AP2(%)	AP3(%)	AP4(%)	AP5(%)	AP6(%)	AP7(%)
Profissionais de Saúde	C. Ext.	91,7	66,7	83,3	66,7	66,7	66,7	0
	C. Bast	8,3	33,3	16,7	33,3	33,3	25	0
	C. Lig.	0	0	0	0	0	8,3	0
	Ind.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Lig.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Bast.	0	0	0	0	0	0	66,7
	D. Ext.	0	0	0	0	0	0	33,3
Pacientes	C. Ext.	63,6	63,6	54,5	90,9	72,7	100	0
	C. Bast	18,2	9,1	27,3	9,1	27,3	0	0
	C. Lig.	9,1	18,2	0	0	0	0	0
	Ind.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Lig.	9,1	9,1	0	0	0	0	9,1
	D. Bast.	0	0	18,2	0	0	0	9,1
	D. Ext.	0	0	0	0	0	0	81,8

Legenda: C. Ext. – Concordo extremamente; C. Bast – Concordo bastante; C. Lig. – Concordo ligeiramente; Ind. – Indiferente; D. Lig. – Discordo ligeiramente; D. Bast. – Discordo bastante; D. Ext. – Discordo extremamente.

Relativamente à variável AP7, as opiniões dos elementos das duas amostras, profissionais de saúde e pacientes, recaíram nos níveis “discordo extremamente” e “discordo bastante”, o que se deve ao facto de a sua redação estar invertida. Nenhuma opinião foi registada em qualquer dos níveis correspondentes ao polo “concordo”, nem ao nível central, significando que, na opinião de todos os participantes na experiência levada a cabo, não existem, no *Physioland*, elementos capazes de desviar o jogador da prática correta dos exercícios propostos.

Para as restantes variáveis deste grupo, salvo raras exceções, as opiniões dos respondentes foram marcadas nos níveis “concordo extremamente” e “concordo bastante”, tendo mesmo a variável AP6 conseguido a totalidade das opiniões dos pacientes no primeiro destes dois níveis. Duas exceções encontram-se nas variáveis AP1 e AP2, ambas relativas à aparência do *Physioland*. É de referir que o responsável pelo nível “discordo ligeiramente” nestas variáveis é um paciente jovem de 17 anos do sexo masculino, habituado a executar outro tipo de jogos, voltados exclusivamente para o entretenimento. O próprio paciente afirmou, numa sessão de fisioterapia, que, jogar o *Physioland* é

“engraçado, mas o GTA¹ é mais fixe!”. Outras exceções foram registadas na variável AP3, relativa à componente sonora do jogo, sendo da responsabilidade de dois pacientes, ambos bastante jovens, do sexo feminino, que assinalaram a sua opinião no nível “discordo bastante”. Contudo, não se poderá dizer que a resposta a este item é dependente da idade ou do sexo, uma vez que os profissionais de saúde são maioritariamente jovens, de ambos os sexos e, no entanto, consideraram a parte sonora agradável e adequada ao jogo. As variáveis idade, sexo e habilitações literárias, podem influenciar as opiniões relativas à aparência e à componente sonora do jogo, mas são insuficientes para justificar qualquer opção sobre estes aspetos. Acredita-se que o enquadramento social e o gosto pessoal do indivíduo podem ter um peso maior na decisão a ser tomada.

É de realçar que a variável AP6 conseguiu a unanimidade de todos os pacientes no nível “concordo extremamente”, o que significa, que o que é necessário fazer para executar os níveis do jogo é completamente perceptível pelos jogadores.

7.1.3. GRUPO C – SATISFAÇÃO DO USO DO PHYSIOLAND

Quanto ao grupo C, é necessário referir que os três últimos itens diferem nos questionários dos profissionais de saúde e dos pacientes, pelo que não faz sentido a comparação dos resultados obtidos para estas variáveis. As variáveis SU5, SU6 e SU7, embora sejam comuns aos dois questionários, apresentam redações ligeiramente diferentes, de forma a enquadrarem-se no ponto de vista dos profissionais de saúde ou dos pacientes.

7.1.3.1. Itens comuns aos dois questionários

Apesar de este grupo incluir dez itens, só serão alvo de comparação, entre as duas amostras, os primeiros sete, que se encontram nas Figura 80-Figura 82.

C. Satisfação do Uso do Physioland

- SU1.** O *Physioland* é interessante.
- SU2.** Usar o *Physioland* é agradável.
- SU3.** É divertido jogar o *Physioland*.
- SU4.** Acho útil usar o *Physioland*.

Figura 80 – Itens do grupo C, comuns, aos dois questionários

¹ GTA (*Grand Theft Auto*) é uma série de jogos eletrónicos voltados para o entretenimento.

- SU5.** O *Physioland* seria desafiante para os pacientes.
- SU6.** O *Physioland* poderia incentivar os pacientes a concluírem os exercícios propostos.
- SU7.** O *Physioland* poderia ajudar o paciente a abstrair-se da terapêutica que está a realizar.

Figura 81 - Itens do grupo C, com redação para os profissionais de saúde

- SU5.** O *Physioland* desafia-me a concluir qualquer exercício.
- SU6.** O *Physioland* incentiva-me a concluir os exercícios propostos.
- SU7.** Com o *Physioland* esqueço-me que estou a fazer fisioterapia.

Figura 82 - Itens do grupo C, com redação para os pacientes

Apresentam-se, na Tabela 8, as percentagens das opiniões dos participantes para cada uma das sete variáveis do questionário que são comuns ao grupo dos profissionais de saúde e ao grupo dos pacientes.

Tabela 8 - Percentagens relativas às variáveis do grupo C, comuns aos dois questionários

	Opinião	SU1(%)	SU2(%)	SU3(%)	SU4(%)	SU5(%)	SU6(%)	SU7(%)
Profissionais de Saúde	C. Ext.	75	75	83,3	100	83,3	75	66,7
	C. Bast	25	25	16,7	0	16,7	25	33,3
	C. Lig.	0	0	0	0	0	8,3	0
	Ind.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Lig.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Bast.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Ext.	0	0	0	0	0	0	0
Pacientes	C. Ext.	63,6	63,6	63,6	54,5	72,7	63,6	54,5
	C. Bast	36,4	36,4	36,4	45,5	27,3	36,4	27,3
	C. Lig.	0	0	0	0	0	0	18,2
	Ind.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Lig.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Bast.	0	0	0	0	0	0	0
	D. Ext.	0	0	0	0	0	0	0

Legenda: C. Ext. – Concordo extremamente; C. Bast – Concordo bastante; C. Lig. – Concordo ligeiramente; Ind. – Indiferente; D. Lig. – Discordo ligeiramente; D. Bast. – Discordo bastante; D. Ext. – Discordo extremamente.

Para estas variáveis, as maiores percentagens, em ambas as amostras, registaram-se no nível “concordo extremamente”, seguidas de outras menores que recaíram no nível “concordo bastante”. Para a variável SU7 houve ainda dois pacientes, um do sexo feminino com 57 anos e outro do sexo masculino com 73 anos, que concordaram ligeiramente com a afirmação que a ela diz respeito.

Nenhum participante manifestou uma opinião indiferente nem qualquer grau de discordância nestas variáveis. Não há diferenças significativas entre os valores das percentagens obtidas nas duas amostras. Assim, independentemente da amostra, da idade, do sexo, das habilitações literárias, todos os participantes consideraram o *Physioland* interessante, agradável, divertido, útil, desafiante, incentivador e proporcionador de abstração.

7.1.3.2. Itens específicos do questionário dos profissionais de saúde

Os três últimos itens do grupo C, definidos especificamente para o questionário dos profissionais de saúde, podem ser consultados na Figura 83.

SU8. O *Physioland* poderia desmotivar os pacientes, nas suas sessões de fisioterapia.

SU9. Se existisse no mercado, compraria/recomendaria o *Physioland*.

SU10. Recomendaria a utilização do *Physioland* nas sessões de fisioterapia com os pacientes.

Figura 83 – Itens específicos do questionário dos profissionais de saúde

Na Tabela 9 encontram-se as percentagens obtidas para estas variáveis específicas do questionário dos profissionais de saúde.

Tabela 9 - Percentagens relativas às variáveis do grupo C, específicas do questionário dos profissionais de saúde

Opinião	SU8(%)	SU9(%)	SU10(%)
C. Ext.	0	41,7	66,7
C. Bast	0	58,3	33,3
C. Lig.	0	0	0
Ind.	0	0	0
D. Lig.	0	0	0
D. Bast.	25	0	0
D. Ext.	75	0	0

Legenda: C. Ext. – Concordo extremamente; C. Bast – Concordo bastante; C. Lig. – Concordo ligeiramente; Ind. – Indiferente; D. Lig. – Discordo ligeiramente; D. Bast. – Discordo bastante; D. Ext. – Discordo extremamente.

À semelhança dos grupos anteriores, também neste grupo C existe um item com redação invertida, que corresponde à variável SU8. E também de um modo semelhante ao que aconteceu com as variáveis deste tipo, as maiores percentagens ocorreram no nível “discordo extremamente”, pertencendo as restantes ao nível “discordo bastante”. Nenhum dos profissionais de saúde marcou a sua opinião no nível central, nem em nenhum dos níveis do polo “concordo”, nem mesmo no nível mais leve da discordância, o que significa que as opiniões dos diversos profissionais de saúde convergem todas no carácter motivador do *Physioland*, quando utilizado nas sessões de fisioterapia

dos pacientes.

As duas últimas variáveis seguem os padrões da maioria das anteriores, presentes em qualquer dos grupos do questionário, no sentido de que os valores das percentagens recaem nos níveis “concordo extremamente” e “concordo bastante”. No entanto, para a primeira destas duas, SU9, contrariamente ao que se tem verificado com maior incidência, a menor percentagem não nula coube ao nível mais elevado da concordância. Porém, em qualquer destas variáveis, não há opiniões assinaladas nos restantes níveis da escala. Pode, assim, dizer-se que todos os profissionais de saúde, independentemente da sua idade, cargo, sexo ou habilitações literárias, comprariam ou recomendariam a compra ou a utilização do *Physioland*.

7.1.3.3. Itens específicos do questionário dos pacientes

Na Figura 84, encontram-se os itens específicos do questionário dos pacientes, correspondentes às três últimas variáveis definidas no grupo C.

- SU8.** Gosto mais das sessões de fisioterapia tradicional.
SU9. Procuo atingir maior pontuação, cada vez que utilizo o *Physioland*.
SU10. Sinto prazer a jogar o *Physioland*.

Figura 84 - Itens específicos do questionário dos pacientes

As percentagens obtidas para as três últimas variáveis do grupo C, do questionário dos pacientes, encontram-se na Tabela 10.

Tabela 10 - Percentagens relativas às variáveis do grupo C, específicas do questionário dos pacientes

Opinião	SU8(%)	SU9(%)	SU10(%)
C. Ext.	0	54,5	45,5
C. Bast	0	18,2	54,5
C. Lig.	0	18,2	0
Ind.	0	9,1	0
D. Lig.	18,2	0	0
D. Bast.	27,3	0	0
D. Ext.	54,5	0	0

Legenda: C. Ext. – Concordo extremamente; C. Bast – Concordo bastante; C. Lig. – Concordo ligeiramente; Ind. – Indiferente; D. Lig. – Discordo ligeiramente; D. Bast. – Discordo bastante; D. Ext. – Discordo extremamente.

A variável SU8, de redação invertida tem a sua maior percentagem no nível “discordo extremamente”, distribuindo-se os valores restantes pelos outros dois níveis do polo “discordo”. Este

resultado, aliado ao facto de não haver pacientes a concordarem com a afirmação nem a terem uma opinião neutra, leva a crer que todos os pacientes preferem o seu tratamento complementado com o *Physioland*, em comparação com as sessões de fisioterapia tradicional. As duas últimas variáveis do grupo C voltaram a ter a suas percentagens marcadas na parte esquerda da escala, correspondente ao polo “concordo”, embora a variável SU9 ainda tivesse sido alvo de uma opinião neutra, pertencente a um paciente de 18 anos, do sexo feminino. É interessante esta opinião surgir da parte de um paciente jovem, uma vez que, durante a experiência foi possível observar que são os mais jovens que lutam por uma maior pontuação, nem que, para isso, tenham de sacrificar o seu desempenho. Quanto à variável SU10, as percentagens distribuíram-se pelos dois níveis mais elevados de concordância, embora o maior valor se tenha verificado no nível “concordo bastante”.

Mais uma vez não se registaram discordâncias, o que significa que todos os pacientes procuraram atingir cada vez maiores pontuações e concordaram que o *Physioland* lhes proporciona uma experiência positiva e estimulante.

7.2. Apreciação do *Physioland*

A última parte do questionário é constituída por sete questões de resposta aberta, utilizadas para se recolher as opiniões dos profissionais de saúde e dos pacientes sobre alguns aspetos e funcionalidades do *Physioland*, dadas de uma forma livre e espontânea. Todavia, parece necessário referir que, mesmo sem limitações na forma de se expressarem, os textos dos pacientes são bastante pobres, alguns reduzidos a uma só frase. As conversas do investigador com os diversos pacientes indicavam já a possibilidade da ocorrência desta situação. No entanto, ainda foi possível recolher algumas opiniões, por vezes mais do que uma por participante.

7.2.1. O QUE O PARTICIPANTE MAIS GOSTA NO PHYSIOLAND

A primeira questão de resposta aberta (QA1) é a que se encontra na Figura 85.

QA1. O que gosta mais no *Physioland*?

Figura 85 – Questão QA1

As respostas a esta pergunta, que se relaciona com o que o inquirido mais gosta no *Physioland*, resultaram nas categorias que podem observar-se na Tabela 11.

Tabela 11 – O que o inquirido mais gosta no *Physioland*

Categorias		%
Profissionais de saúde	Divertimento	50
	Interatividade	33,3
	Motivação	33,3
	Inovação	33,3
	Poder de abstração	25
	Utilidade	8,3
	Argumento/Enredo	8,3
Pacientes	Pontuação	45,5
	Poder de abstração	36,4
	Tudo	18,2
	Divertimento	9,1
	Motivação	9,1
	Interface audiovisual	9,1

A realização da fisioterapia de uma forma divertida foi a categoria mais apontada pelos profissionais de saúde. Seguiu-se-lhe a interatividade e a motivação proporcionadas pelo jogo, bem como a inovação que o sistema de apoio à fisioterapia convencional veio trazer e que, nas palavras de um deles, “proporciona ao utente” uma atmosfera que o insere “num ambiente completamente diferente daquele a que está habituado”. O poder de abstração que o jogo é capaz de oferecer mereceu a atenção de um quarto dos profissionais de saúde que foram inquiridos. A tabela mostra ainda mais duas categorias: a utilidade que o participante que a referiu consegue encontrar no *Physioland*, e o argumento/enredo, que serve de base ao jogo.

Comparando as respostas dos pacientes com as anteriores, pode constatar-se, que existem, nos dois grupos, três categorias em comum: o divertimento, a motivação e o poder de abstração. Porém, enquanto no grupo dos profissionais o divertimento mereceu a opinião de metade deles, no dos pacientes fixou-se nos 9,1%, correspondente a apenas um paciente de 18 anos, do sexo feminino, que diz: “Está bem até para crianças. Levo tudo na brincadeira e não como se estivesse a fazer fisioterapia”. Também a motivação, que, no caso dos profissionais de saúde tinha sido alvo da segunda melhor percentagem, em igualdade com outras categorias, no grupo dos pacientes conseguiu somente a opinião de um paciente de 70 anos, do sexo masculino, que afirmou que o jogo o motiva para “fazer os exercícios de forma a apanhar mais moedas e atingir maior pontuação, e para me fazer sentir melhor”. Já a terceira categoria comum aos dois grupos, o poder de abstração,

ultrapassou, a classificação obtida no grupo dos profissionais de saúde. A este respeito, diz um deles: “Faz-me sentir muito bem. Abstraio-me de tudo e só estou concentrada no objetivo de apanhar moedas, para ter maior pontuação. Não me importava de jogar durante uma hora, de cada vez. Só tenho pena de o Sr. Dr. ir embora no fim do seu estudo”. E outro refere: “Gosto de me esquecer que estou a fazer fisioterapia, enquanto estou concentrada no jogo”. Não foi, contudo, esta categoria a mais referida pelos pacientes, uma vez que a pontuação conseguiu superá-la. Dois idosos, um do sexo masculino e outro do sexo feminino, afirmaram gostar de tudo no *Physioland*. Um deles escreveu: “Gosto de tudo. Faz bem à minha mente. Só tenho pena quando for embora, porque isto faz-me muito bem. Precisava mais disto. Faz bem à minha cabeça!”. Foi encontrada mais uma categoria, a interface audiovisual.

Fazendo um cruzamento de dados, constata-se que estas escolhas, que são o reflexo do gosto pessoal de cada um, não foram determinadas nem pela idade, nem pelo sexo, nem pelas habilitações literárias dos participantes.

Antes de se continuar, há uma observação que deve ser feita: a soma de todas as percentagens, em cada amostra, é superior a 100%, o que se deve ao facto de alguns respondentes terem indicado mais do que um aspeto do *Physioland* do qual gostaram. Esta mesma justificação servirá para todos os casos em que ocorra a mesma situação, isto é, em que a resposta de determinado participante integra várias unidades de informação, que terão de ser inseridas em categorias diferentes.

7.2.2. ASPETOS NEGATIVOS NO PHYSIOLAND

A Figura 86 mostra a segunda questão de resposta aberta (QA2).

QA2. Quais os aspetos negativos que encontra no Physioland?

Figura 86 – Questão QA2

As respostas dos participantes sobre os aspetos do *Physioland* que consideravam negativos foram categorizadas conforme é possível observar na Tabela 12.

Tabela 12 – Aspectos negativos no *Physioland*

Categorias		%
Profissionais de saúde	Nenhum	66,7
	Interface audiovisual	16,7
	Falta de movimentos com rotações e combinados	8,3
	Calibração	8,3
Pacientes	Nenhum	63,6
	Interface áudio	18,2
	Excesso de esforço	18,2

Desta tabela ressalta que a maioria dos profissionais de saúde não encontrou nenhum aspeto negativo no *Physioland*. Como disse um deles, “a harmonia e a atmosfera que o jogo proporciona são bastante agradáveis, não havendo registos negativos a apontar”. Um outro exprimiu-se deste modo: “o jogo está bem conseguido para o objetivo proposto e deveria ser posto no mercado, tendo qualidade para estar nos centros de fisioterapia mais avançados”. E para um terceiro “é tudo bastante agradável e coerente, convergindo no objetivo de motivar e incentivar o jogador para a prática de exercícios de fisioterapia”.

A interface audiovisual (cores pouco atrativas; música monótona, “se o jogador repetir a execução dos desafios”) foi um aspeto negativo encontrado pelos profissionais de saúde. No entanto, a direção de fotografia para este jogo foi inspirada em cenas épicas medievais, onde as cores vivas e vibrantes não predominam. Além disso, os pacientes com doenças neurológicas são muito sensíveis a estes elementos, que os distraem. Também a música foi escolhida com base na época que serve de cenário ao jogo: a época medieval.

Mais duas categorias foram conseguidas com as respostas dos inquiridos a esta questão: a falta de rotações e de movimentos combinados, na maior parte dos movimentos, apontada por um respondente que afirma que “no nosso organismo são muito pouco comuns os movimentos coordenados fisiologicamente puros”; e a calibração. É surpreendente que esta última tenha sido apontada como um aspeto negativo do jogo, porque ela depende exclusivamente de uma posição inicial do jogador, que é muito simples, um procedimento cuja concretização não causou dificuldades em nenhum paciente, durante os meses em que decorreu a investigação.

À semelhança do que aconteceu com os profissionais de saúde, a maioria dos pacientes não encontrou aspetos negativos no *Physioland*. Um deles afirmou mesmo que só encontrou aspetos positivos.

Dois dos participantes nomearam a interface áudio como um aspeto negativo. Estes dois participantes são os mesmos que discordaram bastante do item AP3, do grupo B, no qual se afirmava que “A parte sonora é agradável e adequada ao *Physioland*”. Contudo, como se referiu nessa altura, não são a idade, nem o sexo, nem as habilitações literárias que determinam respostas a perguntas deste tipo, acreditando-se que o enquadramento social e o gosto pessoal do indivíduo podem ter maior influência na decisão a tomar. Aliás, como diz um destes dois pacientes, “os estilos das pessoas são completamente diferentes”.

Há ainda dois jogadores que se queixam do excesso de esforço ocasionalmente exigido. “Por vezes sinto algumas dores no braço. Não gosto quando não consigo apanhar as moedas todas”, diz um deles. E o outro refere: “No final de jogar, às vezes sinto cansaço. Depende da condição física”. Não é de estranhar a ocorrência desta situação, visto tratar-se de dois pacientes, um do sexo feminino, com 75 anos, e outro do sexo masculino, com 73 anos. Afinal, neste caso, a idade parece ter ditado a resposta.

7.2.3. EXERCÍCIO MAIS BEM-CONSEGUIDO/QUE MAIS GOSTA NO *PHYSIOLAND*

A questão QA3 tem redações ligeiramente diferentes no questionário dos profissionais de saúde e no dos pacientes, conforme pode constatar-se na Figura 87 e na Figura 88, respetivamente.

QA3. Qual é o exercício mais bem-conseguido no *Physioland*? Porquê?

Figura 87 – Questão QA3, no questionário dos profissionais de saúde

QA3. Qual é o exercício que gosta mais no *Physioland*? Porquê?

Figura 88 – Questão QA3, no questionário dos pacientes

As opções dos profissionais de saúde relativamente ao exercício mais bem-conseguido no *Physioland*, bem como as dos pacientes a respeito do exercício que mais gostam, possibilitaram obter a Tabela 13. Nesta tabela, podem também observar-se as justificações que levaram a tais escolhas.

Tabela 13 – Exercício mais bem-conseguido/que mais gosta no *Physioland*

	Categorias	%	Justificação	%
Profissionais de saúde	Roldanas	41,7	Maior poder de abstração	41,7
			Mais dinâmico	8,3
	Movimento cruzado	41,7	Combinação de movimentos	33,3
			Mais desafiante	8,3
			Novas tendências	8,3
	Abdução/Adução coxofemoral	16,7	Mais fácil de executar	16,7
Pacientes	Roldanas	54,5	Mais divertido	36,4
			Mais dinâmico	18,2
			Incentivador	9,1
			Menos cansativo	9,1
			Está sentado	9,1
	Movimento cruzado	18,2	Mais divertido	18,2
	Abdução/Adução coxofemoral	9,1	É o único exercício que executa	9,1
	Flexão/Extensão glenoumeral	9,1	Ajuda na sua terapia	9,1
	Todos	9,1	Nenhuma	9,1

Enquanto os profissionais de saúde apresentam uma distribuição bimodal das suas opiniões no que respeita ao exercício mais bem-conseguido no *Physioland*, recaindo as duas maiores percentagens no exercício das roldanas e no do movimento cruzado, os pacientes preferem maioritariamente o exercício das roldanas, aparecendo o movimento cruzado como segunda opção, mas com uma percentagem bastante menor.

Todos os profissionais de saúde que seleccionaram o exercício das roldanas apontaram, como razão da sua escolha, o facto de ser o exercício que tem o maior poder de abstração. No entanto, um deles acrescentou, a esta justificação, uma outra: é o exercício “mais dinâmico, que mais capta a atenção dos jogadores”. Já por parte dos pacientes foram vários motivos que contribuíram para que tivessem optado pelo exercício das roldanas: é o mais divertido, pois, como diz um deles, “Ando com o barquinho, de um lado para o outro, a apanhar as moedinhas”; é o mais dinâmico; é o mais incentivador, uma vez que “Interesso-me em apanhar as moedas com o barco, porque os barcos sempre me incentivaram”; é o menos cansativo dos dois que o paciente executa, pois o outro, a abdução/adução da articulação coxofemoral, provoca-lhe “muito cansaço na perna direita”; é o que lhe permite estar sentado, enquanto o realiza.

Quanto ao movimento cruzado, que, como referido atrás, na amostra dos profissionais de saúde, igualou, em percentagem o exercício das roldanas, foram diferentes as justificações apresentadas por eles. Houve os que o escolheram com base no facto de ser um desafio que envolve uma combinação de movimentos. Um deles exprimiu-se desta forma: “Para mim, é o movimento cruzado, pela conjugação dos diferentes movimentos que ele envolve, mas acredito que, para o paciente, seja o das roldanas, por ser o mais divertido”. Isto leva a crer que, em situações diferentes, este respondente faria escolhas distintas. Ser mais desafiante foi outra justificação apresentada por um só profissional de saúde. E houve ainda um outro que se expressou desta maneira: “Embora todos estejam bem-conseguidos, tendo em conta o objetivo para o qual foram desenvolvidos, o movimento cruzado ultrapassa os restantes, porque vai ao encontro das novas tendências da fisioterapia, contrapondo-se às mais tradicionais, que envolvem exercícios mecânicos rígidos. Este exercício proporciona movimentos mais livres, coincidentes com os que se fazem no dia a dia”. Os pacientes foram unânimes na justificação, ao identificarem o “divertimento” como a razão da sua escolha.

A última categoria encontrada nas respostas dos profissionais de saúde a esta questão refere-se à abdução/adução da articulação coxofemoral, que foi assinalada por dois profissionais de saúde, tendo ambos apresentado a mesma justificação: é o mais fácil de executar. No entanto, considerando as notas de campo recolhidas pelo investigador, esta justificação não combina com a opinião dos pacientes, que se queixavam das dificuldades de realização do exercício, de manterem a postura e de estarem confortáveis. Apesar destas dificuldades, este exercício é a escolha compreensível de um dos pacientes: “só faço um e gosto do jogo”.

A flexão/extensão glenoumeral foi indicada por um paciente, “porque me ajuda bastante no meu problema”.

Por fim, há a opinião de um paciente que diz gostar de todos os desafios, sem apresentar qualquer justificação.

7.2.4. EXERCÍCIO MENOS BEM-CONSEGUIDO/QUE MENOS GOSTA NO PHYSIOLAND

À semelhança do que aconteceu com a questão anterior, também a questão QA4 está redigida de forma ligeiramente diferente no questionário dos profissionais de saúde e no dos pacientes, mas pretendendo-se exatamente o oposto, como pode confirmar-se na Figura 89 e na Figura 90, respetivamente.

QA4. Qual é o exercício menos bem-conseguido no *Physioland*? Porquê?

Figura 89 – Questão QA4, no questionário dos profissionais de saúde

QA4. Qual é o exercício que gosta menos no *Physioland*? Porquê?

Figura 90 – Questão QA4, no questionário dos pacientes

As respostas dos profissionais de saúde encontram-se resumidas na Tabela 14.

Tabela 14 – Exercício menos bem-conseguido no *Physioland*

	Categorias	%	Justificação	%
Profissionais de saúde	Nenhum	58,3	Todos bem conseguidos	58,3
	Movimento cruzado	16,7	Falta de <i>avatar</i>	16,7
	Flexão/extensão radioumeral	16,7	Posição desconfortável	16,7
	Abdução/Adução coxofemoral	8,3	Bastante esforço do paciente	8,3

A maioria dos profissionais de saúde não encontrou, no *Physioland*, nenhum desafio que considerasse menos bem-conseguido, justificando, simplesmente, que todos estavam bem-adaptados a situações de jogo eletrónico. Para outros, a opção recaiu no movimento cruzado, justificando-a com a falta de um *avatar*. Na verdade, o *avatar* encontra-se presente, embora o jogo seja executado sob uma visão subjetiva. A posição desconfortável foi a justificação que outros profissionais de saúde apresentaram para fazer recair a sua escolha na flexão/extensão da articulação radioumeral. Também a abdução/adução da articulação coxofemoral foi apontada com a justificação de que este exercício fisioterapêutico exige bastante esforço, por parte do paciente. No entanto, refere-se que, na primeira sessão relativa a este exercício, cada paciente foi avaliado em termos de tempo, em função da sua capacidade de resistência. Os doentes nunca foram obrigados a prosseguir, quando estavam em excesso de esforço. É de realçar a contradição entre esta opinião e a de outros profissionais de saúde, uma vez que, na questão anterior, houve quem o considerasse o de mais fácil execução.

Quanto aos pacientes, as suas opções não foram registadas na tabela, uma vez que apenas um deles nomeou a flexão/extensão da articulação radioumeral, sem apresentar qualquer justificação, tendo os restantes referido que gostam de todos os exercícios, embora haja um preferido, que foi assinalado na questão anterior.

7.2.5. SUGESTÕES PARA MELHORAR O PHYSIOLAND

A Figura 91 apresenta a questão QA5, que volta a ter a mesma redação em ambos os questionários, tal como acontecerá com as restantes questões.

QA5. Que sugere para melhorar o Physioland?

Figura 91 – Questão QA5

A Tabela 15 apresenta as categorias de sugestões de melhoria do *Physioland* indicados pelos profissionais de saúde e pelos pacientes.

Tabela 15 – Sugestões para melhorar o *Physioland*

Categorias		%
Profissionais de saúde	Outros exercícios	33,3
	Opções de <i>avatar</i>	25
	Opções de banda sonora	16,7
	Opções de cenário	16,7
	Possibilidade de jogo colaborativo/competitivo	16,7
	Teste/controlo de força muscular	8,3
	Calibração de movimento	8,3
	Correção postural	8,3
Pacientes	Nenhuma	45,5
	Outros exercícios	45,5
	Opção de cenário	27,3
	Possibilidade de jogar em casa	9,1
	Possibilidade de jogo colaborativo/competitivo	9,1
	Opção de <i>avatar</i>	9,1
	Exercícios de cognição	9,1
	Argumento mais complexo	9,1

A adição de outros exercícios foi a sugestão dada por vários profissionais de saúde, particularmente a rotação do ombro e mais movimentos combinados numa situação de tarefas ocupacionais, e ainda novos desafios para membros inferiores. Também para o caso dos pacientes, esta sugestão encontra-se em maioria, mas em igualdade com os que não apresentaram qualquer sugestão. À semelhança dos profissionais de saúde, os movimentos sugeridos pelos pacientes foram as rotações e os e os exercícios para os membros inferiores.

Opções de *avatar*, opção de cenário e possibilidade de jogo colaborativo/competitivo são outras

sugestões partilhadas pelas duas amostras, embora com maiores percentagens no grupo dos profissionais de saúde. Na opinião de dois destes, várias opções de *avatar* possibilitariam que o paciente pudesse escolher a personagem com que mais se identifica. Quanto à opção de cenário, foram os pacientes que se justificaram, dizendo: “não gosto do estilo medieval” ou “gostava mais de um ambiente de praia e mar, orientado para o desporto”. Na opinião de alguns dos profissionais de saúde, a possibilidade de jogo colaborativo/competitivo, permitiria, por um lado, que os jogadores se ajudassem mutuamente na conclusão do desafio, já que a sociabilização é muito importante para os pacientes, e, por outro, aumentaria a disputa entre jogadores. Também na opinião dos pacientes, no caso do jogo competitivo, “poder comparar os resultados com os dos colegas dava mais “pica” a lutar por um lugar no *top*”. O investigador reconhece que, embora o *Physioland* não seja um jogo de competição, muitas vezes os pacientes gostavam de conhecer os resultados dos outros e, principalmente, saber se tinham conseguido obter mais “dinheiro” (pontuação).

Teste/controlo de força muscular, calibração de movimento, correção postural e opções de banda sonora são outras propostas apenas dos profissionais de saúde, a última das quais, por sugestão de um deles, para que pudesse ser evitada a monotonia, em caso de repetição dos exercícios. Em contrapartida, os pacientes propõem exercícios relacionados com a parte cognitiva, argumento mais complexo e a possibilidade de jogar em ambiente doméstico, “da mesma forma que uso a pedaleira da fisioterapia convencional”.

Quanto à calibração dos movimentos e à alteração das cores (inserida na opção de cenário), já foram feitas observações, em questões anteriores, julgando-se desnecessária a sua repetição. No que respeita à correção postural, é de referir que esta funcionalidade começou por existir no *Physioland*, mas foi retirada (de acordo com opinião dos fisioterapeutas), porque se tornava incómoda e desmotivadora para pessoas que estão constantemente em compensação.

É de estranhar que não tenha surgido, da parte dos pacientes, nenhuma proposta de alteração do som, uma vez que, conforme já referido anteriormente, dois deles afirmaram que a banda sonora presente no *Physioland* não lhes agradava.

7.2.6. CONHECIMENTO OU UTILIZAÇÃO DE OUTROS JOGOS

A questão QA6 foi redigida conforme a Figura 92 – Questão QA6.

QA6. Que jogo semelhante ao *Physioland* conhece ou já utilizou?

Figura 92 – Questão QA6

Dos doze profissionais de saúde que participaram neste estudo, seis não conhecem qualquer jogo que se assemelhe ao *Physioland*. Porém, quatro deles tiveram conhecimento da existência de jogos não específicos, dois dos quais, por meio de colegas que, exercendo a profissão noutros centros de reabilitação, usam, para o efeito, consolas de jogos comuns; outro, através da leitura de artigos relacionados com este assunto; e ainda um outro que já experimentou a *Wii*, numa ação de formação (não com os pacientes). Há mais dois profissionais da amostra em estudo que assistiram a conferências específicas para utilização de jogos eletrónicos na reabilitação, nas quais foram apresentadas algumas soluções.

No que respeita aos pacientes, nenhum deles usou, nem tão pouco conhece, qualquer jogo semelhante ao *Physioland*. Um deles referiu que já utilizou jogos da *Wii* (portanto, não específicos), em casa de familiares, mas nunca em ambiente clínico; outro mencionou jogos de esforço físico, enquanto cumpria o serviço militar; e um terceiro escreveu: “só joguei cartas, até hoje”.

7.2.7. APRECIÇÃO GLOBAL DO PHYSIOLAND

A última questão, QA7, refere-se à apreciação global do *Physioland*, como pode confirmar-se na Figura 93.

QA7. Qual a sua apreciação global do *Physioland*?

Figura 93 - Questão QA7

As sugestões dadas pelos participantes encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 – Apreciação global do *Physioland*

Categorias		%
Profissionais de saúde	Motivador	75
	Útil	66,7
	Inovador	58,3
	Interessante	41,7
	Desafiante	16,7
Pacientes	Motivador	63,6
	Muito bom	27,3
	Perfeito	9,1

“Motivador” foi o atributo que mais mereceu a apreciação quer dos profissionais de saúde quer dos

pacientes, tendo sido o único que foi apontado por participantes de ambas as amostras. A propósito, disse um dos pacientes: “Sinto-me muito bem a jogar. Se o Sr. Dr. estivesse aqui sempre, eu vinha para aqui”. E outro escreveu: “Comprava o jogo, se pudesse. Gosto bastante como está”.

Mas foi ainda grande a percentagem dos profissionais de saúde que o classificou como uma ferramenta de grande utilidade, um auxiliar dos profissionais de fisioterapia com enorme potencial, e que, como disse um deles, “com maior desenvolvimento, poderá chegar a grandes centros de reabilitação”. Mais de metade deles considerou-o inovador, tendo um deles referido: “Desconhecia que este tipo de tecnologia se desenvolvia em Portugal. Estou orgulhoso dos cientistas deste país, que dedicam o seu tempo a desenvolver mecanismos para ajudar a combater os problemas na área da reabilitação. Soberbo!”. Esteve ainda próximo de metade o número de profissionais de saúde que o acharam interessante.

Quanto aos pacientes, além daqueles que o acharam motivador, houve três que o classificaram como muito bom. A confirmar as suas palavras, um deles escreveu: “Se tivesse o jogo aqui na clínica, gostaria de continuar a jogar”. Houve ainda um paciente que o achou perfeito.

A apreciação global dos participantes de ambas as amostras parece revelar que o *Physioland* cumpriu o objetivo de motivar os pacientes para a prática de fisioterapia, além de ser considerado como uma ferramenta inovadora, interessante, desafiadora e um útil auxiliar dos profissionais de fisioterapia.

7.3. Resultados Recolhidos pelo Sistema

O sistema armazena os dados relativos à execução de cada exercício, a cada segundo. Se o sistema detetar que o paciente se encontra parado, não grava os dados adquiridos. Os resultados que se apresentam nesta secção, respeitantes a cada parâmetro, são as médias dos valores armazenados pelo sistema, para cada exercício e para cada paciente.

Cada parâmetro da *performance* do paciente foi classificado numa escala de um a cinco, de acordo com as Tabela 17 e Tabela 18.

Tabela 17 – Limites para a classificação e avaliação das compensações lateral e frente/trás

Compensação Lateral			Compensação Frente/Trás		
Class.	Limites (m)	Avaliação	Class.	Limites (m)	Avaliação
1	$\geq 0,18$	Mau	1	$\geq 0,18$	Mau
2	$[0,16; 0,18[$	Medíocre	2	$[0,14; 0,18[$	Medíocre
3	$[0,13; 0,16[$	Razoável	3	$[0,11; 0,14[$	Razoável
4	$[0,09; 0,13[$	Bom	4	$[0,09; 0,11[$	Bom
5	$[0; 0,09[$	Muito Bom	5	$[0; 0,09[$	Muito Bom

Tabela 18 – Limites para a classificação e avaliação do alinhamento e da velocidade

Alinhamento			Velocidade		
Class.	Limites (m)	Avaliação	Class.	Aceleração (rad/s ²)	Avaliação
1	$\geq 0,6$	Mau	1	$\geq 4,1$	Variações Bruscas
2	$[0,45; 0,6[$	Medíocre	2	$[3; 4[$	Muito Variável
3	$[0,35; 0,45[$	Razoável	3	$[2; 3[$	Variável
4	$[0,2; 0,35[$	Bom	4	$[1,3; 2[$	Variações Ligeiras
5	$[0; 0,2[$	Muito Bom	5	$[0; 1,3[$	Constante

De notar que, em cada gráfico que será apresentado a seguir, os números que se encontram no eixo horizontal se referem às sessões em que o respetivo exercício foi executado e não ao número da sessão fisioterapêutica desse paciente, isto é, correspondem a sessões consecutivas de realização desse exercício, podendo ter havido, entre elas, outras sessões da experiência em que o paciente executou outros desafios/exercícios.

Relativamente à velocidade, não interessa que esta tenha um maior ou menor valor, mas sim que mantenha um valor aproximadamente constante. Assim, tomou-se como base para a avaliação da velocidade, os valores da aceleração.

Para evitar o carácter repetitivo e exaustivo de toda a informação proveniente dos dados recolhidos pelo sistema, que pode ser consultada, detalhadamente, no Anexo I, tomou-se como critério apresentar apenas os resultados dos pacientes que se consideraram serem o melhor e o pior de cada exercício, em termos de *performance*. Isto não significa que um paciente com o melhor desempenho tenha a melhor pontuação. Na verdade, alguns pacientes sacrificam a sua *performance*, ou seja, fazem compensações, desalinhamentos e variações bruscas de velocidade, para conseguirem obter melhores pontuações.

Salienta-se que nem todos os pacientes executam todos os desafios/exercícios do *Physioland* (Figura 94). Há até quem execute um só exercício, havendo outros pacientes que os executam todos.

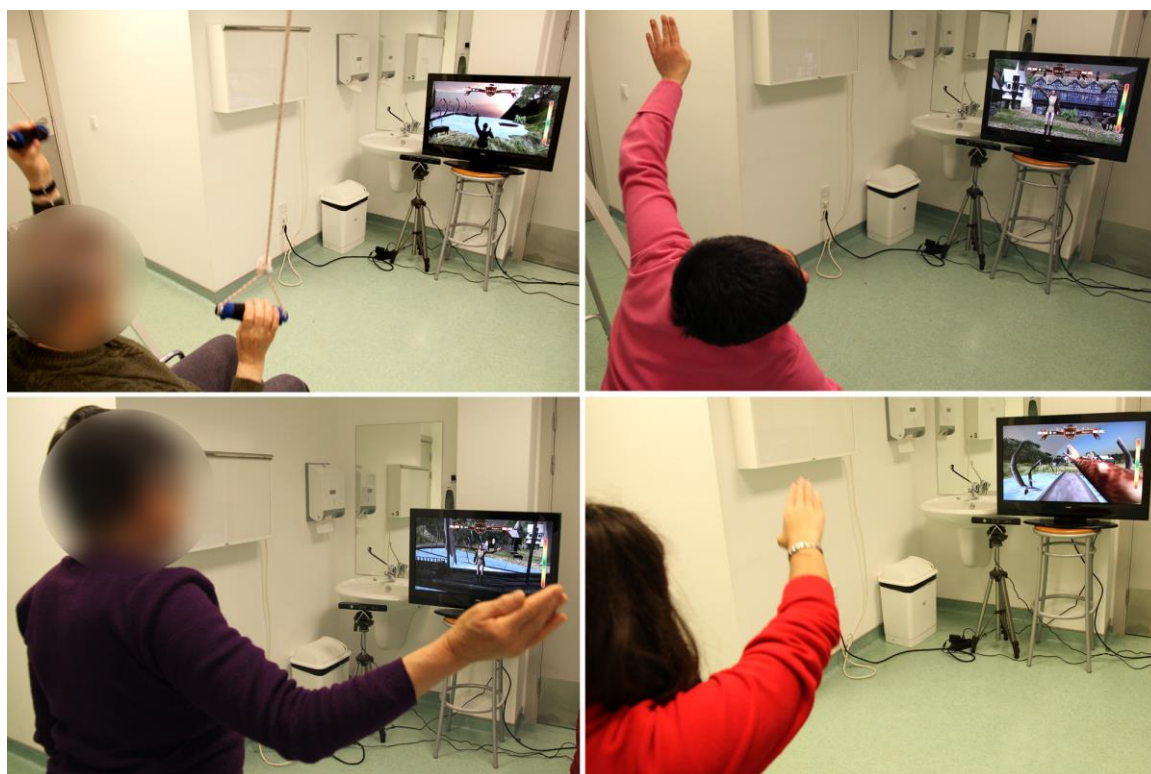


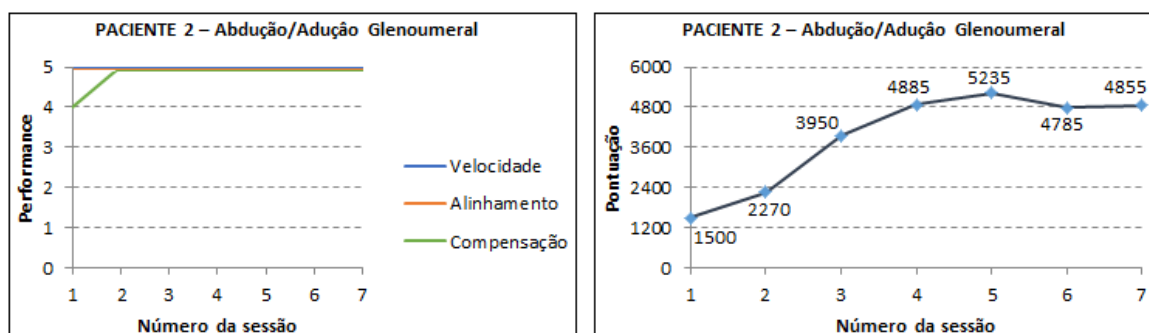
Figura 94 – Diferentes pacientes a executarem exercícios do *Physioland*

É também importante perceber, que, para além de se estar a apresentar os resultados dos dois pacientes com *performances* extremas, para cada exercício, eles não são comparáveis, uma vez que a idade, a condição física, a motivação, as patologias associadas a cada um e o estado em que se encontram são variáveis com pesos relevantes que condicionam o desempenho do paciente, enquanto executa o jogo.

7.3.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Relativamente ao exercício da abdução/adução da articulação glenoumeral, que corresponde ao nível do jogo denominado “aldeia”, considerou-se que o Paciente 2 (P2) foi o que, ao longo das sessões, conseguiu melhores resultados, em termos de *performance*.

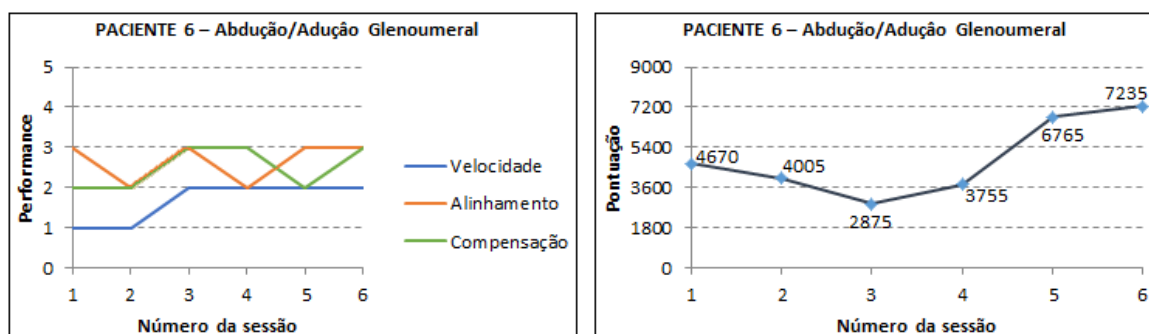
Com os dados obtidos para este paciente, neste desafio, construíram-se os gráficos da Figura 95.

Figura 95 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – AAGU

Da observação do gráfico, é possível concluir que este paciente não mostrou dificuldades em nenhum dos parâmetros analisados: velocidade, alinhamento e compensação. De referir apenas uma ligeira flexão do braço, não relevante, durante a realização do exercício, continuando o paciente dentro dos parâmetros ideais. Quanto à pontuação, ela revelou uma adaptação inicial ao sistema, tendo o paciente atingido a pontuação máxima na quinta sessão. A partir desse momento, a pontuação oscilou ligeiramente, conforme a velocidade maior ou menor com que o paciente executou o exercício, contudo sem variações bruscas.

O resultado deste paciente é fruto da sua motivação e principalmente da sua condição física e do estado ligeiro da sua doença. É uma pessoa de 63 anos, calma, bem-disposta e faladora, gostando, contudo, de estar concentrada na execução do jogo, sem que houvesse interferências do investigador ou do profissional de saúde que a acompanhava. Todas estas características convergem nos melhores resultados obtidos para este exercício.

O Paciente 6 (P6) foi aquele que apresentou os resultados menos favoráveis para este exercício, no que respeita à *performance*. Com a informação que se refere à *performance* e à pontuação deste paciente, ao longo das sessões em que executou este desafio, foi possível obter os gráficos da Figura 96.

Figura 96 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – AAGU

A velocidade neste exercício foi muito variável, com variações bruscas nas primeiras sessões. O alinhamento alternou entre razoável e medíocre, e a compensação variou quase da mesma forma. Em termos de pontuação, este paciente, atingiu valores relativamente elevados, o que se deveu, sobretudo, à sua falta de controlo na velocidade e às compensações e desalinhamentos que fez. Embora chamado à atenção várias vezes, durante as sessões, não teve em atenção a sua postura corporal, em prol da pontuação.

Este paciente é um exemplo de uma situação em que o pior desempenho correspondeu à melhor pontuação. De facto, trata-se de um jovem de 18 anos, motivado, divertido, sempre com uma resposta pronta, que dizia não ter paciência para jogar com controlo de velocidade, e tomava sempre a pontuação como o seu maior desafio. Por conseguinte não foram a motivação, o estado de doença, a condição física, nem a idade que contribuíram para o fraco desempenho. Aliás, no conjunto dos pacientes, não era de esperar que um paciente com as características apresentadas obtivesse tais resultados. A ânsia de uma maior pontuação foi o seu maior *handicap*. Como curiosidade, refere-se que o paciente apontou o exercício das roldanas como o seu preferido, justificando que “tem mais entusiasmo, porque é mais rápido e gera mais energia”.

7.3.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

“Pôr do Sol” é o nome do nível que está associado ao exercício da flexão/extensão da articulação glenoumeral. Comparados os diferentes gráficos de *performance*, identificou-se o Paciente 7 (P7) como o que conseguiu obter os melhores resultados para este exercício. Os gráficos que dizem respeito à *performance* e à pontuação deste paciente, neste desafio, apresentam-se na Figura 97.

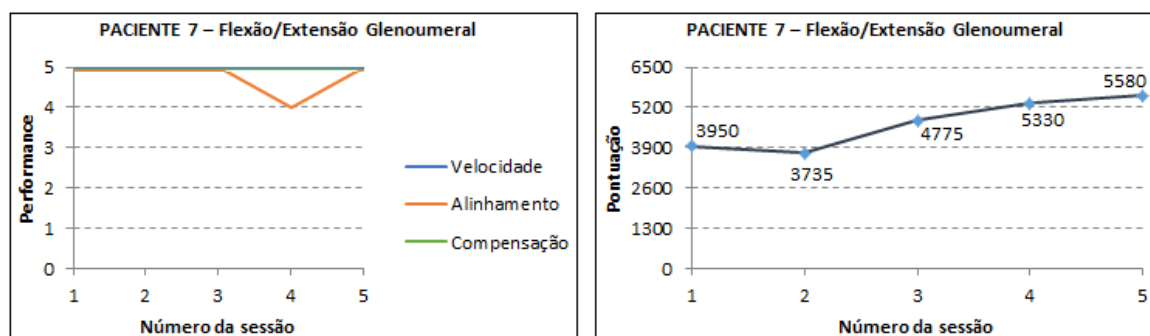


Figura 97 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – FEGU

Em todas as sessões, todos os parâmetros se situaram no patamar superior, significando controlo da velocidade e alinhamento e compensação muito bons, excluindo-se apenas o alinhamento, na

quarta sessão, em que o paciente atingiu o bom. Com a exceção da segunda sessão, na qual se nota uma ligeira descida, a pontuação foi sempre aumentando.

Tem 57 anos, é uma pessoa calma e gosta de se concentrar no jogo, sem que nada a perturbe. Contudo, aceitava as correções dos profissionais de saúde, durante a execução. Sofreu, recentemente, um enfarte ligeiro e é natural que tenha uma evolução positiva visível a curto prazo. Motivada, procurou ao longo do tempo garantir a sua melhor *performance* e pontuação, levando-a a ser o paciente com a melhor *performance* neste exercício. Aponta este exercício como o seu preferido.

O Paciente 6 (P6) volta a ter o pior desempenho neste exercício (Figura 98).

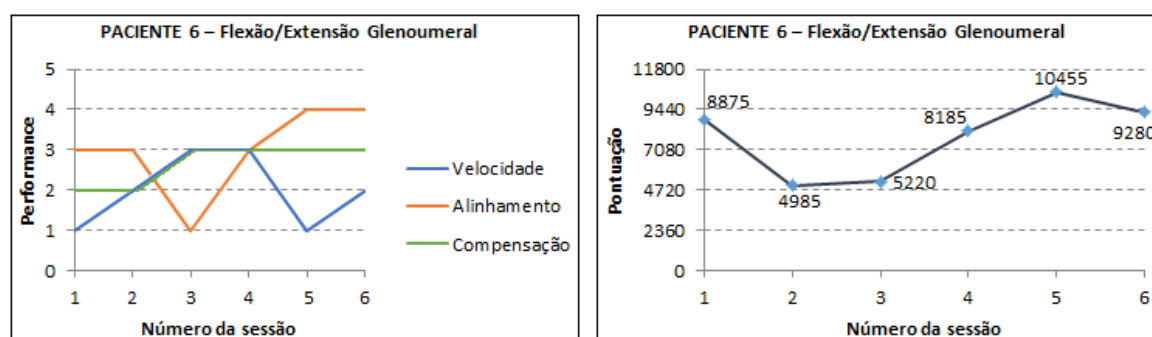


Figura 98 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – FEGU

Analisando o gráfico da velocidade, mais uma vez se nota que este paciente não tem controlo da velocidade. Esta falta de controlo não é provocada pela doença, mas pelo excesso de energia que ele revela. Quanto ao alinhamento, foi mau na terceira sessão, tendo oscilado entre razoável e bom, nas restantes. A compensação começou por ser medíocre nas duas primeiras sessões, tendo passado para o patamar razoável nas seguintes. Por vezes, as melhorias da compensação e do alinhamento estão diretamente relacionadas com as chamadas de atenção feitas pelo profissional de saúde, ou seja, nem sempre são resultantes das dificuldades físicas, nem do esforço para as melhorar. As pontuações foram as maiores entre as de todos os pacientes, como resultado do que já foi referido.

7.3.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

O exercício da flexão/extensão da articulação radioumeral refere-se ao nível “Barco”. A partir da análise dos gráficos relativos à *performance* dos pacientes na execução deste nível de jogo, considerou-se que foi novamente o Paciente 2 (P2) que revelou o melhor desempenho.

Na realização deste exercício, o paciente obteve a *performance* e a pontuação que foram resumidas nos gráficos da Figura 99.

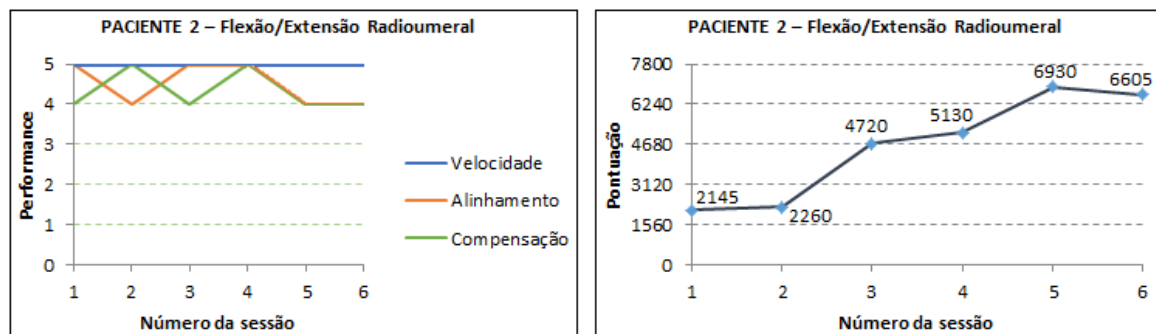


Figura 99 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – FERU

Nota-se que este paciente tem um bom controlo da velocidade. O alinhamento e a compensação oscilaram ligeiramente, de sessão para sessão, entre o bom e o muito bom. O próprio paciente admitiu ter mais dificuldades em executar este exercício, porque lhe causava algum desconforto na articulação do cotovelo. Apesar desta dificuldade assumida, é o paciente que obtém os melhores resultados em termos de *performance*. A pontuação foi crescendo ao longo do tempo, à exceção da última sessão, na qual desceu ligeiramente. As características deste paciente que foram apontadas anteriormente voltam a justificar os bons resultados.

Os piores resultados neste desafio foram obtidos pelo Paciente 8. Deve observar-se que este paciente executou o exercício com o membro superior direito e com o membro superior esquerdo. Apesar de apresentar maus resultados quando executou este nível, exercitando tanto um membro como o outro, foi com o membro superior esquerdo que obteve os piores. Ao longo das sessões em que executou este exercício, o paciente obteve os valores da *performance* e da pontuação que estão apresentados nos gráficos da Figura 100.

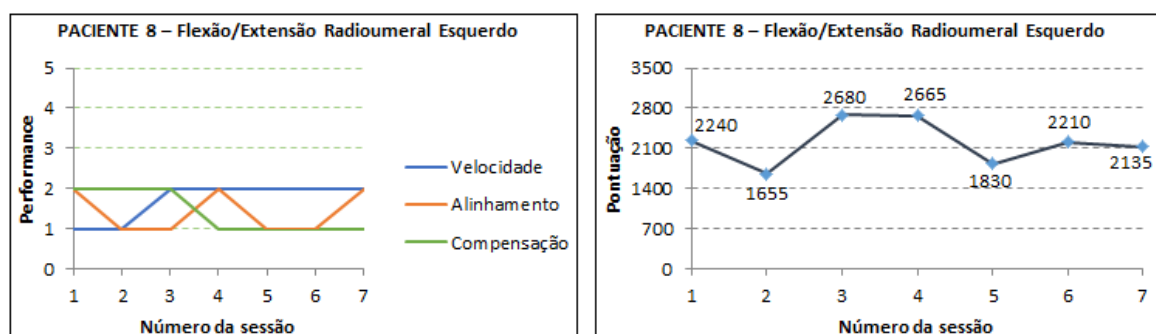


Figura 100 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – FERUe

Analizando o gráfico da *performance* do paciente, neste exercício, facilmente se depreende que os parâmetros variaram todos entre mau e medíocre, sendo a velocidade muito variável, por vezes com variações bruscas, consequência direta da sua doença. Os valores da pontuação apresentam oscilações, mas que nada permitiram concluir acerca do desempenho do paciente.

Este paciente tem problemas de equilíbrio, executando os exercícios sentado numa cadeira. É uma pessoa simpática e faladora. Apesar das suas limitações, estava sempre a rir-se, mesmo durante a execução dos exercícios. Verificou-se que é uma pessoa extremamente motivada com o jogo, contudo a sua condição física e o estado da doença são os fatores responsáveis pelos maus desempenhos na realização dos exercícios. Nota-se, no entanto, que algumas melhorias de *performance* estão relacionadas com as infiltrações a que o paciente foi sujeito, durante o período experimental.

7.3.4. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

O nível “Cascata” é o que se encontra associado ao exercício da abdução/adução da articulação coxofemoral. Uma vez mais, a melhor *performance* foi conseguida pelo Paciente 7 (P7). Os resultados obtidos para a *performance* e para a pontuação do paciente podem ser observados nos gráficos da Figura 101.

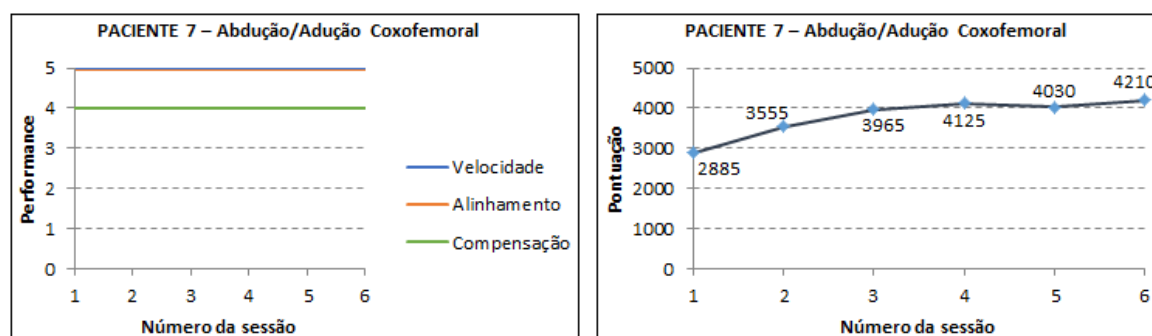


Figura 101 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – AACF

Embora lhe custasse aguentar os cinco minutos sem necessidade de apoio na estrutura auxiliar, este paciente foi muito constante na realização deste exercício. Manteve o bom controlo de velocidade, um alinhamento praticamente perfeito e uma boa compensação. A pontuação, à semelhança de outros exercícios, foi crescente, com a exceção da quinta sessão, onde se registou uma descida pouco significativa. À semelhança dos exercícios anteriores, a dedicação com que este paciente se entrega à execução do jogo, aliada às características já referidas, colocam-no no topo das

melhores *performances*. Mesmo admitindo algum esforço na realização deste exercício, não hesita e obtém bons resultados.

Os piores resultados deste nível voltam a pertencer ao Paciente 6 (P6), cujos gráficos da *performance* e da pontuação podem observar-se na Figura 102.

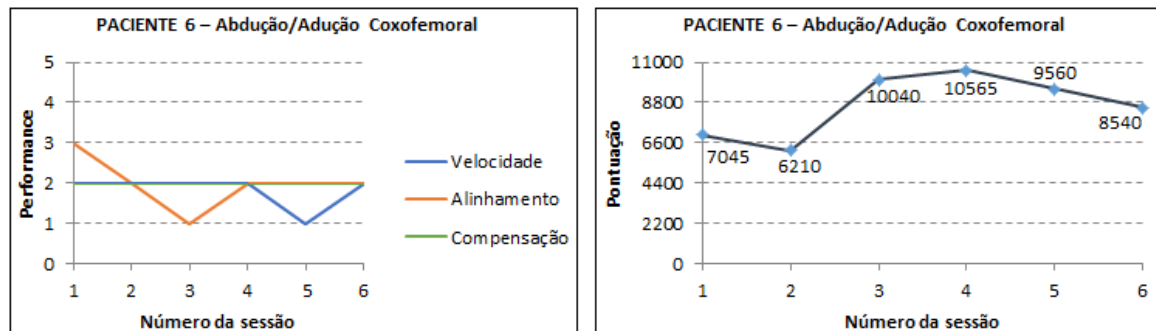


Figura 102 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – AACF

Devido ao pouco equilíbrio que o paciente tem ao executar este exercício, viu-se obrigado a apoiar-se na barra lateral da estrutura auxiliar. O gráfico da velocidade comprova, mais uma vez, que o paciente não tinha o controlo da velocidade. De facto, esta foi muito variável em cada sessão, tendo mesmo tido variações bruscas na quinta sessão. O alinhamento, embora tivesse começado por ser razoável na primeira sessão, a partir daí começou a baixar, tendo sido mau na terceira sessão e medíocre nas restantes. A compensação foi sempre medíocre. Estes valores da compensação e do alinhamento foram prejudicados pelo estado físico do paciente, que se encontrava em permanente desalinhamento no membro inferior, que o obrigava a fazer muita compensação para realizar o exercício. Contudo, a sua impaciência continuou a prejudicá-lo, na medida em que obteve melhores pontuações, mas a pior *performance* de todos os pacientes que realizaram este exercício.

7.3.5. MOVIMENTO CRUZADO

No quinto nível, “Ponte”, pretende-se que o paciente execute o movimento cruzado. O Paciente 2 (P2) conseguiu atingir, mais uma vez, a melhor *performance* neste desafio. A sua execução levou aos valores da *performance* e da pontuação que podem observar-se nos gráficos da Figura 103.

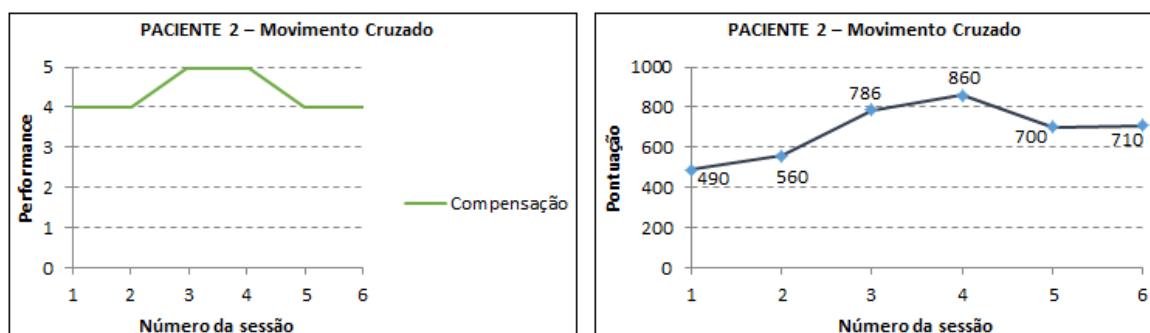


Figura 103 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – MCr

O jogador executou este exercício apenas com o braço esquerdo, recolhendo-o sempre que apanhava uma moeda. A nível de compensação, os valores mantiveram-se sempre nos níveis mais elevados (bom e muito bom). A pontuação foi sofrendo alterações que podem ter origem no carácter aleatório do local onde aparecem as moedas.

A dedicação com que o Paciente 8 (P8) se entrega à execução dos exercícios não é suficiente para o tirar do nível inferior de *performance*, neste desafio. Ao longo do período experimental, os resultados obtidos encontram-se na Figura 104.

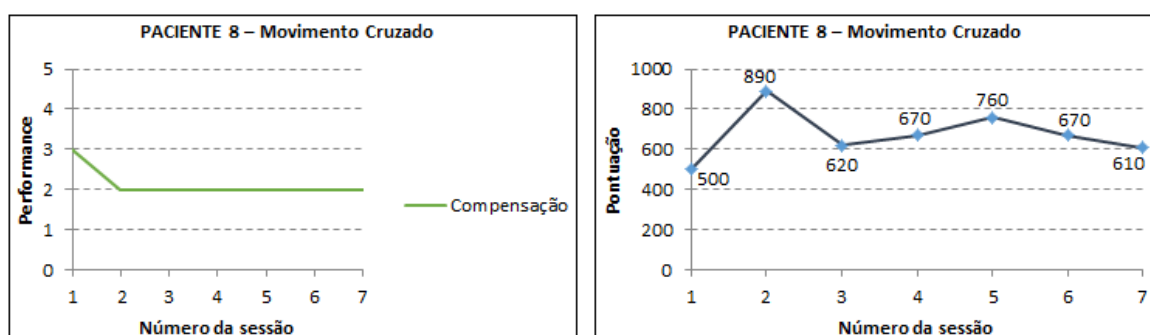


Figura 104 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – MCr

Só na primeira sessão teve compensação razoável, tendo descido para medíocre nas restantes. O paciente executou o exercício com os dois braços, recolhendo o que efetuava o movimento, sempre que apanhava a moeda. A pontuação, como é habitual neste exercício, esteve dependente do carácter aleatório da posição em que aparecem as moedas. De realçar que o paciente, quando não conseguia apanhar a moeda com o braço que deveria, utilizava o outro, para prosseguir com o jogo.

Em suma, pode dizer-se que se está perante um paciente que se encontra nos limiares da utilização do jogo, ou seja, é classificado como um paciente neurológico em estado moderado, o que não lhe permite obter melhores resultados. É de realçar, contudo, a motivação e o prazer que são perceptíveis

quando está a executar o *Physioland*.

7.3.6. ROLDANAS

Para o exercício das roldanas, os pacientes são levados a executar o desafio denominado “Pesca”. Foi o Paciente 5 que conseguiu obter os melhores resultados neste nível. A realização deste exercício proporcionou, a este participante, valores de *performance* e de pontuação que levaram aos gráficos da Figura 105.

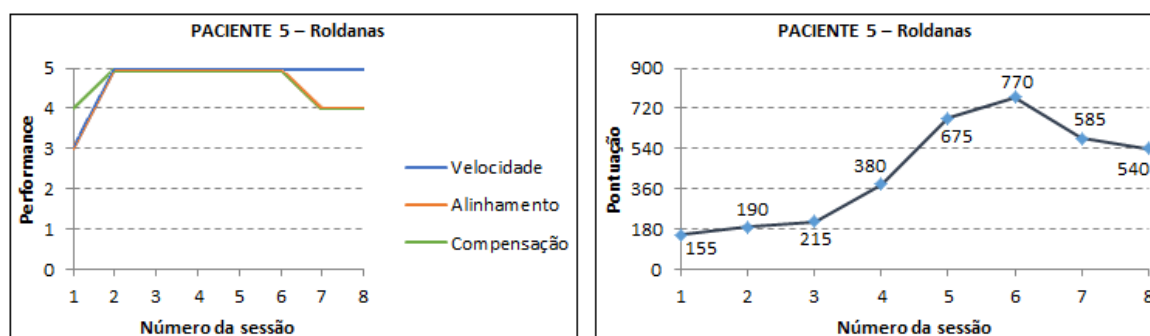


Figura 105 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P5 – Rol

Inicialmente o alinhamento não passou de razoável, mas logo a partir da segunda sessão passou para o patamar superior, do qual baixou para bom a partir da sétima sessão. A compensação seguiu o comportamento do alinhamento, com exceção da primeira sessão, em que foi boa. A velocidade foi variável na primeira sessão, mas, a partir dela, o paciente conseguiu mantê-la constante. Executou este exercício em nível fácil até à terceira sessão, a quarta sessão foi em dificuldade média e as restantes em nível difícil. O gráfico da pontuação é um reflexo das alterações do nível de dificuldade e da velocidade de execução do exercício.

Este paciente, com 71 anos, executava os exercícios sempre sentado na sua cadeira de rodas. É uma pessoa simpática, atenciosa, que gosta de conversar. Tentava captar o máximo daquilo que lhe era dito, para fazer o melhor possível. Apesar da idade, da sua patologia e de se deslocar numa cadeira de rodas, apresenta ligeiras restrições de mobilidade nos membros superiores. Apesar das suas limitações, os fatores referidos não a impediram de conseguir os melhores resultados neste desafio, que, como ela própria refere, é o seu preferido.

Apesar de ter conseguido manter a velocidade constante em todas as sessões, considerou-se como piores resultados os obtidos pelo Paciente 11, tendo em conta os restantes parâmetros da sua *performance*. Na Figura 106, observam-se os gráficos que foram construídos utilizando os valores

da *performance* e da pontuação deste paciente.

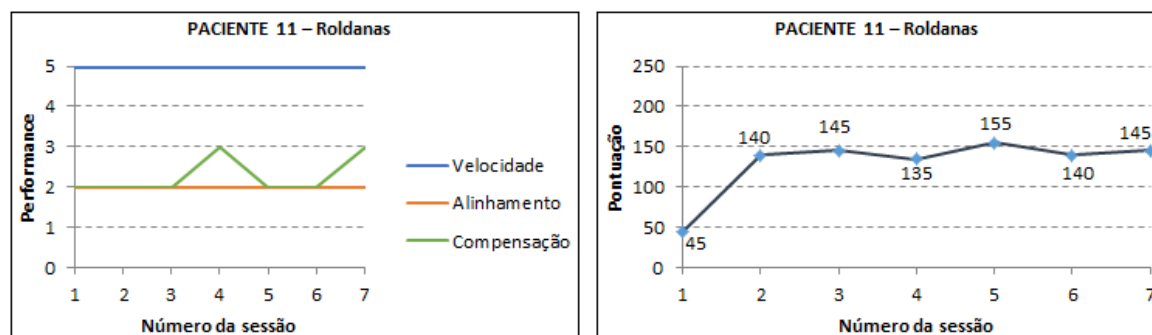


Figura 106 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P11 – Rol

O jogador executou o exercício sempre no nível fácil. O controlo da velocidade foi sempre conseguido pelo paciente. O alinhamento fixou-se no patamar medíocre, o mesmo acontecendo com a compensação, com a exceção da quarta e da sétima sessões, em que conseguiu ser razoável. O paciente teve a sua pior pontuação na primeira sessão, porque ainda não tinha conseguido compreender a dinâmica do jogo e andou, muitas vezes, dessincronizado. Nas restantes sessões, manteve valores muito próximos uns dos outros. Com 83 anos, sofre de problemas de equilíbrio, o que o obriga a fazer os exercícios sentado numa cadeira. Também tem problemas de visão, contudo, isso não foi problemático para a execução do jogo. É uma pessoa calma, gosta de falar, mas tem de ser estimulado pelos profissionais, durante o jogo, para executar os exercícios. A idade e a doença podem ter sido as variáveis determinantes dos resultados obtidos.

7.3.7. OBSERVAÇÕES

Como já foi dito, apresentaram-se apenas os resultados correspondentes ao melhor e ao pior desempenho dos pacientes em cada desafio, tendo-se remetido para anexo os resultados pormenorizados.

A informação apresentada carece de consulta do anexo mencionado, o qual dá a conhecer alguns pormenores importantes, tais como: a postura do jogador na execução do jogo (sentado, de pé, com apoio, com ou sem adição de pesos); a duração do desafio (dois minutos e meio ou cinco minutos); nível de dificuldade de alguns desafios (fácil, médio, difícil, muito difícil); problemas associados aos pacientes; e anotações de campo.

Os resultados recolhidos pelo sistema, por si só, não são suficientes para determinar se um paciente está motivado durante a execução do jogo. Estes resultados tiveram de ser cruzados com outras

informações, nomeadamente, notas resultantes da observação não estruturada e dos questionários efetuados aos pacientes. De facto, verifica-se que nem sempre um mau resultado corresponde a um paciente não motivado, assim como um bom resultado nem sempre é sinónimo de motivação por parte dele. Pode ser apenas consequência da sua condição física. Há outros fatores que podem influenciar a *performance* e a pontuação de um indivíduo, não existindo também uma correlação entre elas, tal como foi constatado com a análise efetuada anteriormente.

7.4. Discussão

Analizados os pacientes individualmente, chegou-se à conclusão que não são comparáveis entre eles. Cada paciente é único, com características próprias e doença específica.

Deve ter-se em conta que os elementos da amostra, de ambos os sexos, abrangem uma ampla faixa etária, sendo a idade um fator relevante. Curiosamente, as pessoas mais idosas foram as que tiveram mais interesse, tendo, no geral, respeitado as regras do jogo, durante as várias sessões. Os mais novos, motivados pela adição do jogo ao seu plano fisioterapêutico, nas primeiras sessões começaram por respeitar, criteriosamente, as regras e as indicações dos profissionais de saúde. Contudo, posteriormente, estavam mais interessados em obter uma pontuação mais elevada, nem que para isso tivessem de piorar a sua *performance*.

À primeira vista, poderia pensar-se que, ao longo das várias sessões, os pacientes fossem melhorando a sua *performance* e a sua pontuação. Porém, os profissionais de saúde já tinham alertado a equipa de investigação de que tal não iria acontecer. Por norma, um doente neurológico tem uma capacidade de recuperação até um ano após a manifestação da doença, sendo essa recuperação mais visível nos primeiros quatro meses. A partir do primeiro ano, normalmente, a fisioterapia é fundamental para a manutenção do estado físico do paciente. Alguns dos participantes no estudo levado a cabo já realizam tratamentos fisioterapêuticos há vários anos, encontrando-se na situação atrás referida.

Ao analisar-se as *performances* e a pontuação destes doentes, encontraram-se várias oscilações ao longo das várias sessões. São vários os motivos para que tal aconteça. Nas primeiras sessões, alguns pacientes ainda estão num processo de adaptação ao jogo e, por norma, mais atentos às indicações dos profissionais de saúde e comprometidos com o cumprimento do que lhes é dito. Ao longo das sessões, vão adquirindo confiança, que ora os ajuda, ora os prejudica, dependendo das características de cada um. Nas sessões que ocorreram à segunda-feira, de uma forma geral, os

pacientes tinham uma quebra na sua *performance*, o que provavelmente se devia ao facto de passarem o fim de semana sem praticarem fisioterapia.

Temporalmente, a experiência com o jogo decorreu entre janeiro e abril, uma época propícia a doenças que afetam principalmente as pessoas mais idosas. Daí, a razão pela qual a experiência se prolongou para além dos dois meses inicialmente previstos. As sessões dos pacientes nem sempre foram regulares, por vários motivos, sendo um deles a doença. De referir as quebras de *performance*, depois de uma doença, ou as queixas de dores nas articulações, quando havia uma mudança climática.

Alguns pacientes vão tendo alterações no seu plano fisioterapêutico, ficando mais ou menos cansados, quando chega a ocasião de executar o jogo, o que influencia a sua *performance*.

O estado emocional dos pacientes tem, também, uma influência nos resultados dos jogadores. Numa situação em que o paciente se encontrava irritado ou mal-humorado, devido a fatores externos, evitou-se que ele executasse o jogo, a conselho dos profissionais.

Haveria outros aspetos que poderiam ser referidos e que influenciam o desempenho dos pacientes. Embora não houvesse nenhum mecanismo para quantificar o nível de motivação durante a experiência, as reações espontâneas dos pacientes, tanto verbais como faciais, interpretadas subjetivamente pelas perceções da equipa de investigação e dos profissionais de saúde, possibilitaram compreender que o jogo estava a motivá-los para a prática de fisioterapia. Não há registo de qualquer sessão em que algum paciente se tenha revoltado, sentido frustrado, entediado ou manifestado qualquer outro comportamento negativo. O seu estado de espírito poderia afetar a sua espontaneidade, mas não lhe tirava a vontade de jogar. De referir, que a maioria dizia que gostaria de continuar a jogar e ficou triste quando soube que o estudo estava a terminar e que iriam deixar de jogar. Obter mais pontuação, ultrapassar obstáculos do jogo eram desafios que os deixavam cada vez mais empolgados, ao longo da experiência. Alguns gostavam de conhecer os resultados dos outros pacientes, para os ultrapassar, o que acabava por ser assunto de discussão no ginásio comunitário do centro de reabilitação.

Em suma, não há registo de qualquer ocorrência menos agradável durante o período experimental, o que satisfaz e orgulha a equipa de investigação, dada a variabilidade dentro da amostra, em termos de idade, sexo e enquadramento social.

7.5. A Reter deste Capítulo

Quer para os profissionais de saúde, quer para os pacientes, para se proceder à análise dos resultados dos dados recolhidos com as questões fechadas do questionário, recorreu-se a tabelas que apresentam a percentagem de respondentes que se inserem em cada uma das opiniões assinaladas. A observação destas tabelas permite concluir que tanto os profissionais de saúde como os pacientes concordaram que o *Physioland* é fácil de utilizar, tem uma aparência e uma *performance* adequadas, tendo ficado satisfeitos com a sua utilização.

Os dados recolhidos com as questões de resposta aberta do questionário foram sujeitos a uma análise de conteúdo, tendo-se também recorrido a tabelas para resumir as categorias encontradas e as respetivas frequências. Os participantes de ambas as amostras referiram o que mais gostavam e o que menos lhes agradava no *Physioland*, deram sugestões para o melhorar e, relativamente à apreciação global, “motivador” foi a categoria que colheu o maior número de opiniões, em ambas as amostras.

Os resultados recolhidos pelo sistema foram analisados através de gráficos da *performance* e da pontuação conseguidas por cada paciente, tendo sido apresentados apenas alguns deles. Para o traçado dos gráficos da *performance* foram estabelecidos limites que permitiram classificar os alinhamentos, as compensações e as velocidades dos diferentes pacientes, nos diversos exercícios.

Capítulo 8

CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as respostas às questões de investigação, referindo as principais conclusões obtidas na presente investigação, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros.

Com este estudo procurou-se atingir um objetivo geral: desenvolver um jogo sério, baseado em técnicas de processamento de imagem, para motivar e monitorizar a prática de fisioterapia de pacientes com mobilidade reduzida, em consequência de doença neurológica. Por ser bastante abrangente, subdividiu-se este objetivo geral em seis objetivos parciais relacionados com a capacidade de aumentar ou diminuir o nível de dificuldade dos exercícios fisioterapêuticos, com a possibilidade de os monitorizar, com o armazenamento, numa base de dados, de toda a informação recolhida pelo sistema, com a adaptação, a situações de jogo eletrónico, de exercícios específicos da fisioterapia tradicional, com uma forma de *feedback* e com a motivação dos pacientes.

A estes objetivos parciais fizeram-se corresponder questões de investigação, que foram refinadas ao longo do trabalho e que foram indicando o tipo de avaliação que viria a ser utilizada: a avaliação qualitativa. A impossibilidade de obtenção de amostras de grande dimensão, que poderiam permitir a generalização de resultados ou a confirmação de hipóteses, também apontou para a mesma direção, afastando a utilização de uma avaliação quantitativa. De facto, como já referido no capítulo 6, relativo à Metodologia, as amostras utilizadas neste estudo foram as possíveis: amostras probabilísticas de conveniência, na medida em que incluíram todos os profissionais de saúde e todos os pacientes com doenças neurológicas em estado ligeiro ou moderado, do Centro de Fisioterapia da Santa Casa da Misericórdia de Arouca, que se prontificaram a darem o seu contributo para a realização da experiência.

Definido o tipo de avaliação a utilizar, escolheram-se as técnicas que se consideraram mais adequadas para a recolha de dados: o inquérito e a observação direta. Para concretizar a técnica do inquérito, privilegiou-se o questionário, em detrimento da entrevista, por razões apontadas no capítulo 6. Foi o TAM que serviu de modelo para a preparação dos questionários, tendo sido a sua escolha justificada no mesmo capítulo. Trata-se, no entanto, de um modelo fundamentalmente direcionado para a avaliação quantitativa, exigindo a utilização da estatística inferencial para o tratamento dos dados e, consequentemente, amostras de grande dimensão, de modo a chegar-se a uma só percentagem dos que aceitam a tecnologia em estudo. Se a esta realidade se juntar o facto de o TAM se encontrar redigido em língua estrangeira, facilmente se depreende a necessidade de uma tradução e de uma adaptação do mesmo, para se chegar aos questionários construídos.

Este modelo foi, pois, de extrema importância para a elaboração das três partes de escolha múltipla: Facilidade de uso, Aparência e Performance e Satisfação do uso do *Physioland*. No caso da presente investigação, mais do que a percentagem dos que aceitariam a solução desenvolvida, impossível de

determinar, tendo em conta o reduzido número de participantes, interessava a opinião dos diferentes respondentes, relativa a cada um dos itens constituintes destas três partes do questionário, justificando-se, assim, o tipo de avaliação feita aos dados recolhidos através delas. Contudo, a parte relativa às questões de resposta aberta constitui a principal diferença entre os questionários elaborados e o TAM. Assim sendo, apesar de o TAM estar validado, face aos resultados das inúmeras aplicações de que tem sido alvo, achou-se, por bem, proceder à validação dos questionários que foram utilizados, validação esta que ocorreu de acordo com o que está descrito ainda no mesmo capítulo 6.

O jogo *Physioland* foi desenvolvido com recurso à estratégia da investigação-ação, que percorre ciclicamente uma sequência de etapas, sendo a última delas, em cada ciclo, a avaliação do trabalho realizado no decorrer desse ciclo. Só após uma avaliação positiva, se prosseguia para um novo ciclo. Quer isto dizer que, quando se deu por terminado o desenvolvimento do jogo, ele estava dotado de todas as capacidades para que fora projetado. Restava verificar se estava realmente funcional, pelo que se procedeu à sua experimentação final em ambiente clínico.

Os onze elementos do público-alvo sobre os quais incidiu a pesquisa sofrem de doença neurológica, em estado ligeiro ou moderado. Todos eles conseguiram levar a bom termo os diferentes exercícios proporcionados pelo *Physioland* e que fazem parte dos seus planos fisioterapêuticos. Confirmam-nos os resultados que foram apresentados no capítulo anterior, relativos à *performance* e à pontuação obtida por cada um deles, em cada exercício executado. Porém, para alguns pacientes, o sucesso de um ou de outro desafio/exercício só foi conseguido graças à possibilidade de se ajustar o nível de dificuldade, de forma a que eles o pudessem realizar. Este facto remete para a primeira questão de investigação: *Terá o jogo a capacidade de se ajustar a pacientes com diferentes níveis de inaptidão física?* Mostrou-se, com os resultados obtidos, que o ajuste foi possível, podendo, por conseguinte, considerar-se afirmativa a resposta a esta questão.

Pergunta-se na segunda questão de investigação: *Haverá possibilidade de se fazer a monitorização dos exercícios enquanto estão a ser executados?* Os dados obtidos pelo *software* fornecem informações sobre a *performance* do jogador em tempo real, durante a execução do jogo (velocidade, alinhamento, compensação, diferentes ângulos específicos de cada exercício), e sobre a pontuação obtida, significando que é uma realidade a monitorização dos exercícios enquanto estão a ser executados, o que constitui a resposta afirmativa à segunda questão de investigação. Estes dados, relativos à monitorização, orientam-se no sentido de responder, também, à terceira questão de

investigação: *Será o sistema capaz de informar a equipa de investigação, os profissionais de saúde e o paciente sobre o desempenho deste último, na realização de qualquer exercício?* A resposta é também afirmativa, visto que toda a informação é armazenada numa base de dados, podendo ser consultada através do *backoffice* construído para o efeito.

No que se refere à quarta questão de investigação: *Conseguir-se-á a adaptação de exercícios específicos da fisioterapia tradicional a situações de jogo eletrónico?*, todos os participantes deste estudo, fossem profissionais de saúde ou pacientes, foram unânimes em considerar que a facilidade de uso do *Physioland* é um facto, uma vez que não encontraram dificuldades para iniciarem o jogo, para se colocarem na posição correta, para interpretar e executarem os diferentes exercícios, para compreenderem a interação com o jogo, resumidamente, para funcionarem e interagirem com ele. Adicionalmente, também em termos de aparência e *performance*, o *Physioland* mereceu a aprovação dos participantes de ambas as amostras, afora uma ou outra opinião menos favorável, relativa a aspetos demasiado subjetivos, tais como o som e a aparência. Contudo, para a quase generalidade dos participantes, o jogo desenvolvido tem uma aparência apelativa e ajustada ao objetivo definido para ele; a parte sonora é agradável e adequada; o funcionamento é bom; as animações são interessantes; os movimentos fisioterapêuticos estão bem-adaptados a situações de jogo; e o jogador não é desviado da prática correta dos exercícios propostos. Quer fossem elementos de uma ou de outra amostra (profissionais de saúde ou pacientes), houve um consenso por parte de todos os participantes em considerar o *Physioland* como um jogo interessante, que proporciona um ambiente agradável, com divertimento, e cuja utilidade é indiscutível; um jogo capaz de desafiar o paciente a fazer mais e melhor, de o motivar a prosseguir o seu tratamento, de o incentivar a concluir os exercícios, de o ajudar a abstrair-se do aborrecimento que a terapia tradicional ocasiona; um jogo que todos os profissionais de saúde participantes no estudo comprariam ou recomendariam, caso houvesse no mercado, e cujo uso aconselhariam; e um jogo cuja utilização todos os pacientes da amostra preferem para a realização dos exercícios de fisioterapia, em detrimento da prática tradicional. Assim, as características do *Physioland* que se podem deduzir das opiniões dos participantes convergem na resposta afirmativa à quarta questão de investigação: a adaptação de exercícios específicos da fisioterapia tradicional a situações de jogo eletrónico foi conseguida com sucesso, pois o contrário, caso se verificasse, não conseguiria desencadear as referidas opiniões. Aliás, no inquérito aplicado aos profissionais de saúde, encontrava-se formulado, de modo explícito, o item relativo a esta adaptação, tendo a totalidade destes participantes concordado com ela.

A quinta questão de investigação surge na seguinte forma: *Poder-se-á desenvolver um modelo de jogo com uma forma de feedback que desperte o interesse do paciente para continuar a jogar?* No inquérito que foi apresentado aos pacientes, surgia um item com o qual se pretendia perceber se eles procuravam atingir maior pontuação, cada vez que utilizavam o *Physioland*. À exceção de um deles, que manifestou uma opinião neutra, todos os restantes concordaram com a afirmação. No entanto, a observação que o investigador foi fazendo ao longo das diferentes sessões de cada paciente, fizeram-no aperceber-se de que, se havia aqueles que sacrificavam o bom desempenho em favor de uma maior pontuação, existiam outros que procuravam realizar o exercício da forma mais correta que lhes era possível, com prejuízo daquele parâmetro. Em qualquer dos casos, a pontuação obtida por cada um chegava a ser motivo de polémica entre eles, o que incentivava cada qual a voltar a jogar, numa tentativa de superar os demais. Isso conduz também a uma resposta positiva à quinta questão de investigação: a forma de *feedback* que o jogo disponibiliza é capaz de despertar o interesse do paciente para continuar a jogar.

A sexta questão de investigação incluía a pergunta: *Cumprirá o jogo sério o objetivo de promover a motivação dos pacientes com doença neurológica para a realização da fisioterapia necessária para manterem a sua independência, durante o máximo tempo possível?* “Motivador” foi o adjetivo mais utilizado quer por profissionais de saúde quer por pacientes, quando se lhes pediu que fizessem uma apreciação global do *Physioland*. Além disso, as opiniões relativas a outras características do jogo, tais como a diversão, o desafio, o prazer, o incentivo, o interesse, já apontavam nesta direção. Dada a forma simples com que se chegou a estes resultados, depreende-se que o questionário, através dos seus itens de resposta aberta, foi uma escolha acertada como instrumento para avaliar a motivação dos pacientes. A entrevista não iria trazer informação adicional, pois, na presença do investigador, os participantes, nomeadamente os pacientes, iriam sentir-se mais intimidados para dar as suas respostas. Mais, os dados recolhidos por meio da observação direta, mais particularmente os gestos e as expressões faciais, foram imprescindíveis para confirmar o que os questionários já tinham revelado. De referir que, dada a subjetividade deste tipo de dados, o investigador se limitou a descrever o que observou, sem qualquer julgamento ou interpretação. E a resposta à última questão de investigação é evidente: o jogo desenvolvido consegue promover a motivação dos pacientes com doença neurológica para a realização da fisioterapia necessária para manterem a sua independência, durante o máximo de tempo possível.

Em suma, o sistema desenvolvido foi capaz de responder positivamente a todas as questões de investigação, dando, assim, cumprimento a todos os objetivos parciais com elas relacionados e,

consequentemente, ao objetivo geral definido para esta pesquisa: desenvolver um jogo sério, baseado em técnicas de processamento de imagem, para motivar e monitorizar a prática de fisioterapia de pacientes com mobilidade reduzida, em consequência de doença neurológica.

Por tudo o que foi dito, pode concluir-se que se contribuiu para a ciência com o desenvolvimento de um jogo inovador, original, criativo, que, em lugar de oferecer jogos já existentes, destinados à reabilitação de pacientes com problemas de mobilidade, proporciona desafios que replicam os movimentos fisioterapêuticos, destinando-se a pacientes com doenças neurológicas, o que faz dele um bom complemento à fisioterapia tradicional.

O sistema criado constitui, acima de tudo, uma solução funcional, que poderá servir como ponto de partida para o desenvolvimento de novas versões.

Considerando as indicações dos profissionais de saúde e dos pacientes, uma sugestão para trabalho futuro será melhorar certos aspetos do *Physioland*, tais como a possibilidade de escolha do *avatar*, da banda sonora e da aparência.

Seguindo, ainda, as opiniões dos profissionais de saúde e dos pacientes, o desenvolvimento de mais exercícios para os membros inferiores poderá constituir um bom tópico a levar a cabo em investigações posteriores.

No futuro, utilizando a solução integrada desenvolvida, poder-se-ão incluir novos exercícios mais específicos para uma dada patologia, bem como novos jogos.

A base de dados do sistema, que armazena a informação que se vai obtendo nos testes com os pacientes, poderá também ser utilizada para desenvolver uma ferramenta inteligente capaz de proporcionar o diagnóstico das patologias de um novo paciente, bem como propor/prescrever planos de reabilitação.

Como qualquer ciência, também a área da reabilitação médica tem os seus desenvolvimentos. As novas tendências para a fisioterapia de pacientes com estas doenças vão no sentido de alterar o paradigma dos exercícios, tornando-os mais livres, menos rígidos, tal como o exercício “movimento cruzado”, proporcionado pelo *Physioland*. A introdução de novos exercícios mais direcionados para este paradigma pode ser outra posposta para trabalho futuro.

Durante o estudo, também se foi prestando atenção ao benefício que o aspeto social pode oferecer a estes pacientes, sobretudo a nível de motivação. Dotar o jogo de ambientes competitivos e colaborativos é mais uma das características a ter em conta, futuramente.

Uma outra possibilidade será a integração de realidade aumentada ou virtual, que, ao proporcionar uma maior imersão do paciente, lhe oferece oportunidades de vivenciar diversas situações.

Por último, poder-se-á também efetuar estudos da evolução das doenças neurológicas, recorrendo à reabilitação com a ferramenta desenvolvida, em comparação com ferramentas tradicionais.

REFERÊNCIAS

- Acharya, T., & Ray, A. K. (2005). *Image processing – Principles and applications*. Hoboken, New Jersey, USA, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Alankus, G., Lazar, A., May, M., & Kelleher, C. (2010). Towards customizable games for stroke rehabilitation. *Proceedings of the CHI 2010: Therapy and Rehabilitation*, (pp. 2113-2122). Atlanta, GA, USA.
- Albuquerque, R. M. (Maio-Ago. de 2014). Letramento eletrolúdico como conscientização: bases teóricas para educar o jogar. *Currículo sem Fronteiras*, 14(2), pp. 57-74.
- Alcará, A. R., & Guimarães, S. É. (Janeiro-Junho de 2007). A instrumentalidade como uma estratégia motivacional. *Revista de Psicologia Escolar e Educacional*, 11(1), pp. 177-178.
- Almeida, P. N. (1998). *Educação lúdica - Técnicas e jogos pedagógicos* (9ª ed.). São Paulo, Brasil: Edições Loyola.
- Annadurai, S., & Shanmugalakshmi, R. (2007). *Fundamentals of digital image processing*. Patparganj, New Delhi, India, India: Dorling Kindersley Pvt. Ltd.
- Araújo, E. M. (2015). *O desenho de videojogos na motivação de pacientes com necessidades de reabilitação fisioterapêutica*. Instituto Politécnico do Cávado e do Ave. Barcelos, Portugal: Instituto Politécnico do Cávado e do Ave.
- Araújo, M., Martins, T., Carvalho, V., Marques, J., & Soares, F. (2013). O desenho de videojogos na motivação de pacientes com necessidades de reabilitação fisioterapêutica. *Proceedings of the 2nd International Conference on Illustration and Animation (Confia 2013)*, (pp. 570-578). Porto, Portugal.
- Araújo, M., Martins, T., Carvalho, V., Marques, J., & Soares, F. (2015). *PhysioVinci* e o desenho de videojogos na motivação de pacientes em reabilitação fisioterapêutica. *Proceedings of the 3rd International Conference on Illustration and Animation (Confia 2015)*, (pp. 423-468). Braga, Portugal.
- Ariès, P. (1978). *Historia social da criança e da família* (1ª ed.). (D. Flaksman, Trad.) Rio de Janeiro, Brasil: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.
- Arnal, J., Rincón, D., & Latorre, A. (1994). *Investigación educativa: Fundamentos y metodología*. Barcelona, España, España: Editorial Labor.

- Assad, O., Hermann, R., Lilla, D., Mellies, B., Meyer, R., Shevach, L., . . . Malaka, R. (2011). Motion-based games for Parkinson's disease patients. Em J. C. Anacleto, S. Fels, N. K. Graham, M. S. El-Nasr, & K. Stanley (Ed.), *Entertainment Computing – ICEC 2011, 10th International Conference, ICEC 2011* (pp. 47-58). Vancouver, BC, Canada: Springer.
- Balista, V. G. (2013). PhysioJoy –sistema de realidade virtual para avaliação e reabilitação de déficit motor. *Proceedings do XII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames 2013)*, (pp. 16-20). São Paulo, Brasil.
- Baranyi, R., Reisecker, F., Lederer, N., Gobber, M., & Grechenig, T. (2014). WristDroid – a serious game to support and motivate patients throughout their wrist rehabilitation. *2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, (pp. 786-791). Miri, Sarawak, Malaysia.
- Barros, C. P. (2010). *Nintendo Mario Kart: A presença da interatividade no universo dos games*. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo, Brasil: Pontifícia Universidade Católica de São Paulo.
- Barros, S. L., Passos, N. R., & Nunes, M. A. (Março de 2013). Estudo inicial sobre acidente vascular cerebral e serious games para aplicação no projeto AVC do núcleo de tecnologia assistiva da UFS. *Rev. GEINTEC – Gestão, Inovação e Tecnologia*, 3(1), pp. 129-143.
- Bello, R. S. (Julho de 2013). Sobre história e videogames: Possibilidades de análise teórico-metodológica. *Anais do XXVII Simpósio Nacional de História* (pp. 1–17). Natal, RN, Brasil: Anpuh Brasil.
- Borella, M. P., & Sacchelli, T. (2009). Os efeitos da prática de atividades motoras sobre a neuroplasticidade. *Revista Neurociências*, 17(2), pp. 161-169.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV* (1st ed.). (M. Loukides, Ed.) Sebastopol, CA, USA, USA: O'Reilly Media, Inc.
- Brodal, P. (2004). *The central nervous system: Structure and function* (3rd ed.). New York, USA: Oxford University Press.
- Broeren, J., Bjorkdahl, A., Claesson, L., Goude, D., Lundgren-Nilsson, Å., Samuelsson, H., . . . Rydmark, M. (2008). Virtual rehabilitation after stroke. Em S. K. Andersen, G. O. Klein, S. Schulz, J. Aarts, & M. Mazzoleni (Ed.), *EHealth Beyond the Horizon: Get IT There : Proceedings of MIE2008*. 136, pp. 77-82. Amsterdam, Netherlands: IOS Press.

- Burke, J. W., McNeil, M. D., Charles, D. K., Morrow, P. J., Crosbie, J. H., & McDonough, S. M. (Outubro de 2009). Optimising engagement for stroke rehabilitation using serious games. *The Visual Computer: International Journal of Computer Graphics*, 25(12), 1085-1099.
- Caillois, R. (1991). *Les jeux et les hommes: Le masque et le vertige*. Paris, France: Éditions Gallimard.
- Călin, A., Cantea, A., Dascălu, A., Mihaiu, C., & Suciu, D. (December de 2011). MIRA – upper limb rehabilitation system using microsoft *Kinect*. *Studia Universitatis Babes-Bolyai, Series Informatica, LVI (4)*, pp. 63-74.
- Campos, C. B. (2010). *Estimulação sensorial: Base para a aprendizagem*. Niterói, Brasil: Universidade Candido Mendes.
- Campos, G. P. (2013). *Sistema para fisioterapia baseado na plataforma Kinect*. Universidade do Porto. Porto: Universidade do Porto.
- Cargnin, D. J., d'Ornellas, M. C., & Prado, A. L. (2015). A serious game for upper limb stroke rehabilitation using biofeedback and mirror-neurons based training. Em I. N. Sarkar, A. Georgiou, & P. M. Marques (Ed.), *MEDINFO 2015: eHealth-enabled Health – Proceedings of the 15th World Congress on Health and Biomedical Informatics*. 216, pp. 348-352. São Paulo, SP, Brasil: IOS Press.
- Coelho, F. M., & Balancho, M. J. (2008). *Motivar os alunos – Criatividade na relação pedagógica: Conceitos e práticas*. Lisboa: Texto Editores.
- Dezentje, P. (2016). *Designing an engaging game for assessing motion disorders*. Faculty of Technology, Policy and Management. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.
- Djaouti, D., Alvarez, J., Jessel, J.-P., & Rampnoux, O. (2011). Origins of serious games. Em M. Ma, A. Oikonomou, & L. C. Jain (Edits.), *Serious Games and Edutainment Applications* (pp. 25-43). London, United Kingdom: Springer-Verlag.
- Duflo, C. (1997). *Le jeux: de Pascal a Schille*. Paris, France, France: Presses Universitaires de France (PUF).
- Elali, T. S. (2012). *Discrete systems and digital signal processing with Matlab* (2nd ed.). New York, USA: CRC Press.
- Facon, J. (2006). Técnicas de processamento digital de imagens aplicadas à área da saúde. Em K.

- R. Felizardo (Ed.), *XIII Escola Informática da SBC. 1*, pp. 108-147. Bandeirantes, PR, Brasil: Sociedade Brasileira de Computação.
- Feany, M. B., & Bender, W. W. (Março de 2000). A Drosophila model of Parkinson's disease. *Nature*, 404(6776), pp. 394-398.
- Fernández-Baena, A., Susí, A., & Lligadas, X. (2012). Biomechanical Validation of Upper-Body and Lower-Body Joint Movements of *Kinect* Motion Capture Data for Rehabilitation Treatments. *Fourth International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, (pp. 656-661). Bucharest, Romania.
- Fernandez-Cervantes, V., Stroulia, E., Oliva, L. E., Gonzalez, F., & Castillo, C. (2015). Serious games: rehabilitation fuzzy grammar for exercise and therapy compliance. *2015 IEEE Games Entertainment Media Conference (GEM)* (pp. 1 – 8). Toronto, Ontario, Canada: IEEE.
- Ferreira, B. (2008). *Uma técnica para validação de processos de desenvolvimento de software*. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, Brasil: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
- Fu, K. S. (1977). Introduction to syntactic pattern recognition. Em K. S. Fu (Ed.), *Syntactic Pattern Recognition – Application* (Vol. 14, pp. 1-30). Berlin, Heidelberg, Germany, Germany: Springer.
- Gale, T. (2005). *The Gale encyclopedia of neurological disorders* (Vol. 1). (S. L. Chamberlin, & B. Narins, Edits.) Farmington Hills, MI, USA, USA: Thomson Gale.
- Gerber, C. N., Kunz, B., & van Hedel, H. J. (23 de March de 2016). Preparing a neuropediatric upper limb exergame rehabilitation system for home-use: A feasibility study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1-12.
- Gibb, W. R., & Lees, A. J. (Junho de 1988). The relevance of the Lewy body to the pathogenesis of idiopathic Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 51(6), 745-752.
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2008). *Digital image processing* (3rd ed.). (G. Dulles, & T. Benfatti, Edits.) Upper Saddle River, New Jersey, USA, USA: Pearson Education, Inc.
- Haidekker, M. A. (2011). *Advanced biomedical image analysis*. Hoboken, New Jersey, USA, USA: John Wiley & Sons, Inc.

- Ho, S. (2014). *A motion capture framework to encourage correct execution of sport exercises*. VU University Amsterdam. Amsterdam, Netherlands: VU University Amsterdam.
- Huizinga, J. (1949). *Homo ludens: A study of the play-element in culture*. London, Boston, and Henley: Routledge & Kegan Paul Ltd.
- Hunt, K. A. (2010). *The art of image processing with Java*. Boca Raton, Florida, USA, USA: CRC Press.
- Inggrit, S. D., S., & Sanjaya, R. (May-August de 2013). Game therapy for stroke patients. (S. Charmonman, Ed.) *International Journal of the Computer, the Internet and Management*, 21(2), 62-64.
- Johnson, W. L., Vilhjalmsson, H., & Marsella, S. (2005). Serious games for language learning: How much game, how much I? Em C. K. Looi, G. McCalla, & B. Bredeweg (Ed.), *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence in Education* (pp. 306-313). Amsterdam: IOS Press.
- Kadhum, Z. A. (May de 2012). Equalize the histogram equalization for image enhancement. *Journal of Kufa for Mathematics and Computer*, 1(5), 14-21.
- Karande, K. J., & Talbar, S. N. (2014). *Independent component analysis of edge information for face recognition*. New Delhi, India: Springer.
- Kasbi, Y. (2012). *Les serious games: une revolution*. Liège, Belgique, Belgique: Edipro.
- Kaufmann-Sacchetto, K., Madaschi, V., Barbosa, G. H., Silva, P. L., Silva, R. C., Filipe, B. T., & Souza-Silva, J. R. (2011). O ambiente lúdico como fator motivacional na aprendizagem escolar. *Cadernos de Pós-Graduação em Distúrbios do Desenvolvimento*, 11(1), pp. 28-36.
- Kent, S. L. (2010). *The ultimate history of video games: From Pong to Pokémon and Beyond – The story behind the Craze That Touched Our Lives and Changed the World*. New York, NY, USA, USA: Three Rivers Press.
- Keshner, E. A. (December de 2004). Virtual reality and physical rehabilitation: a new toy or a new research and rehabilitation tool? *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 1(8).
- Kiffer, A. G. (2014). *The study of wars and the chess games* (1st ed.). Rio de Janeiro, Brasil, Brasil: Clube de Autores.
- Kishimoto, T. M. (1994). O jogo e a educação infantil. *Perspectiva*, 12(22), pp. 105-128.

- Koetting, J. R., & Malisa, M. (2004). Philosophy, research, and education. Em D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (2nd ed., pp. 1009-1020). Mahwah, NJ, USA, USA: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Lopes, O. (2015). *Design e desenvolvimento de um dispositivo móvel para jogos virtuais em ambiente clínico fisioterapêutico*. Instituto Politécnico do Cávado e do Ave. Barcelos, Portugal: Instituto Politécnico do Cávado e do Ave.
- Lopes, O., Martins, T., Carvalho, V., Matos, D., Soares, F., & Machado, J. (2015). Design and development of a portable projection and natural interface device for virtual games applied to physiotherapy. *Proceedings of the 12th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (ICNAAM 2014)*. Athens, Greece.
- Lopes, O., Martins, T., Carvalho, V., Matos, D., Soares, F., & Machado, J. (2016). Ergonomics and usability in the development of a portable virtual games device applied to physiotherapy. *Transactions of FAMENA*.
- Ma, M., & Bechkoum, K. (2008). Serious games for movement therapy after stroke. *Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics*, (pp. 1872-1877). Singapore.
- Macedo, A. C. (2014). *Serious game for motion disorders – Rehabilitation of Parkinson's disease patients*. Instituto Superior Técnico de Lisboa. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Malmivuo, J., & Plonsey, R. (1995). *Bioelectromagnetism – Principles and applications of bioelectric and biomagnetic fields*. New York, USA, USA: Oxford University Press.
- Malone, T. W. (1980). What makes things fun to learn? Heuristics for designing instructional computer games. *Proceedings of the 3rd SIGSMALL Symposium and the First SIGPC Symposium on Small Systems* (pp. 162-169). New York, NY, USA: ACM.
- Markus, H. S. (Aug. de 2011). Stroke genetics. *Human Molecular Genetics*, 20(2), pp. 124-131.
- Marques Filho, O., & Vieira Neto, H. (1999). *Processamento digital de imagens*. Rio de Janeiro, Brasil, Brasil: Brasport.
- Martín-Moreno, J., Ruiz-Fernandez, D., Soriano-Paya, A., & Berenguer-Miralles, V. J. (2008). Monitoring 3D movements for the rehabilitation of joints in physical therapy. *Proceedings of*

- the 30th Annual International Conference of the IEEE, in Engineering in Medicine and Biology Society*, (pp. 4836-4839). Vancouver, British BC, Canadá.
- Martins, D. A., Ramos, A. S., & Lopes, F. D. (2011). Caracterização do processo de desenvolvimento de software: Um estudo de múltiplos casos da região metropolitana de Recife. *XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, (pp. 1-13). Belo Horizonte, MG, Brasil.
- Martins, T., Araújo, M., Carvalho, V., Soares, F., & Torrão, L. (2014). PhysioVinci – A first approach on a physical rehabilitation game. Em M. Ma, M. F. Oliveira, & J. Baalsrud Hauge (Ed.), *Proceedings of The Fifth International Conference on Serious Games Development & Applications (SGDA 2014)*, (pp. 1-9). Berlin, Germany.
- Martins, T., Araújo, M., Lopes, O., Carvalho, V., Soares, F., Matos, D., . . . Torrão, L. (2014). PhysioVinci – Solução Integrada para Reabilitação Física de Pacientes com Patologias Neurológicas. *Video Jogos 2014*. Barcelos, Portugal.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2012). An overview on the use of serious games in physical therapy and rehabilitation. Em M. M. Cruz-Cunha (Ed.), *Handbook of Research on Serious Games as Educational, Business and Research Tools* (Vol. 1, pp. 1175-1187). Hershey, PA, USA, USA: IGI-Global.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2013a). Application for physiotherapy and tracking of patients with neurological diseases – Preliminary studies. *IEEE 2nd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)* (pp. 1-8). Vilamoura, Portugal: IEEE.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2013b). Monitoring of patients with neurological diseases: Development of a motion tracking application using image processing techniques. (N. Sraaam, Ed.) *International Journal of Biomedical and Clinical Engineering (IJBCE)*, 2(2), 37-55.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2013c). Development of a system for monitoring and tracking of physiotherapeutic movements in patients with neurological diseases. *IEEE 3rd Portuguese BioEngineering Meeting (ENBENG 2013)*. Braga, Portugal.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2015a). A serious game for rehabilitation of neurological disabilities: Preliminary study. *IEEE 4rd Portuguese BioEngineering Meeting (ENBENG 2015)*. Porto, Portugal.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2015b). Web platform for serious games management.

- Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies (HCist 2015)*, 64, pp. 1115- 1123. Vilamoura, Algarve, Portugal.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2016a). Tracking of physiotherapy exercises using image processing techniques. Em P. Garrido, F. Soares, & A. P. Moreira (Ed.), *Controlo 2016 - Proceedings of the 12th Portuguese Conference on Automatic Control*. 402, pp. 439-448. Guimarães, Portugal: Springer International Publishing.
- Martins, T., Carvalho, V., & Soares, F. (2016b). Integrated solution of a *backoffice* system for serious games targeted to physiotherapy. *International Journal of Computer Games Technology*.
- McAndrew, A. (2016). *A computational introduction to digital image processing* (2nd ed.). New York, USA, USA: CRC Press.
- Moritz, C., Morrison, T., Otis, B., Burt, J., Rios, D., Gilbertson, T., & McCoy, S. (2011). Neurogame therapy for improvement of movement coordination after brain injury: developing a wireless biosignal game therapy system. *IEEE Global Humanitarian Technology Conference*, (pp. 72-77). Seattle, WA, USA.
- Moura, J. A. (2011). *Estudo das práticas no desenvolvimento de sistemas de apoio a decisão com enfoque em fatores ambientais e perfis dos usuários*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, PE, Brasil: Universidade Federal de Pernambuco.
- Mulder, T., & Hochstenbach, J. (2001). Adaptability and flexibility of the human motor system: Implications neurological for rehabilitation. *Neural Plasticity*, 8(1,2), 131-140.
- Najarian, K., & Splinter, R. (2012). *Biomedical signal and image processing* (2nd ed.). Boca Raton, Florida, USA, USA: CRC Press.
- Neves, D. E., Santos, L. G., Santana, R. C., & Ishitani, L. (Abril de 2014). Avaliação de jogos sérios casuais usando o método GameFlow. *Revista Brasileira de Computação Aplicada*, 6(1), pp. 45-59.
- Nieborg, D. B. (2004). America's Army: More than a Game. Em T. Eberle, & W. C. Kriz (Edits.), *Transforming knowledge into action through gaming and simulation*. Munich, Germany, Germany: SAGSAGA.
- Nyitray, K. J. (2011). William A. Higinbotham: Scientist, activist, and computer game pioneer. *IEEE Annals of the History of Computing*. 33(2), pp. 96-101. IEEE.

- O'Huiginn, B., Smyth, B., Coughlan, G., Fitzgerald, D., & Caulfield, B. (2009). Therapeutic exergaming. *Sixth International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, (pp. 273 – 277). Berkeley, CA, USA.
- Oliveira, C. E., Salina, M. E., & Annunciato, N. F. (Abril de 2001). Fatores Ambientais que influenciam a plasticidade do SNC. *Revista Acta Fisiátrica*, 8(1), pp. 6-13. Obtido em 3 de Março de 2016, de Neurociências em Debate: <http://cienciasecognicao.org/neuroemdebate/?p=1053>
- Otsu, N. (January de 1979). A threshold selection method from gray-level histogram. *IEEE Transactions on System Man Cybernetics*, 9(1), 62-66.
- Pandolfo, M. (Março de 2009). Friedreich ataxia: the clinical picture. *Journal of Neurology*, 256(Supplement 1), pp. 3-8.
- Paraskevopoulos, I. T., Tsekleves, E., Craig, C., Whyatt, C., & Cosmas, J. (December de 2014). Design guidelines for developing customised serious games for Parkinson's disease rehabilitation using bespoke game sensors. *Entertainment Computing*, 5(4), 413-424.
- Pedraza-Hueso, M., Martín-Calzón, S., Díaz-Pernas, F. J., & Martínez-Zarzuela, M. (2015). Rehabilitation using Kinect-based games and virtual reality. *2015 International Conference Virtual and Augmented Reality in Education*. 75, pp. 161–168. Monterrey, Mexico: Elsevier.
- Pereira, S. K. (2014). *O videogame como esporte: Uma comparação entre esportes eletrônicos e esportes tradicionais*. Universidade de Brasília, Faculdade de Comunicação - Departamento de Audiovisuais e Publicidade. Brasília, Brasil: Universidade de Brasília.
- Peres, C. P. (2002). *Estudo das sobrecargas posturais em fisioterapeutas: Uma abordagem biomecânica ocupacional*. Universidade Federal de Santa Catarina, Engenharia. Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Pikkarainen, T., Pikkarainen, K., Karjaluoto, H., & Pahlila, S. (2004). Consumer acceptance of online banking: an extension of the technology acceptance model. (K. Turner, & K. Von Heusinger, Edits.) *Internet Research*, 14(3), 224–235.
- Ponte, N. F. (2013.). *Um jogo sério sobre realidade económica/financeira de Portugal*. Instituto Superior Técnico. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Queiroz, J. E., & Gomes, H. M. (2001). Introdução ao Processamento Digital de Imagens. *Revista de*

- Informática Teórica e Aplicada (RITA)*, 8 (1), pp. 1-31.
- Radu, A., & Gonçalves, F. G. (Março/Abril de 2011). O papel da insuficiência venosa crônica cérebro-espinhal na esclerose múltipla. *Rev. Radiol. Bras.*, 44 (2), pp. IX-X.
- Reddy, B. D., & Prasad, T. (december de 2010). Frequency domain filtering of colour images using quaternion Fourier transforms. *International Journal of Computer Science and Technology*, 1(2), 46-52.
- Reis, G. (2005). *Videogame: História, gêneros e diálogo com o cinema*. Universidade de Marília. Marília, SP, Brasil: Universidade de Marília.
- Ribeiro Sobrinho, J. B. (1995). Neuroplasticidade e a recuperação da função após lesões cerebrais. *Acta Fisiátrica*, 2(3), pp. 27-30.
- Rocha, W. R. (2009). *O Jogo e o xadrez: Entre teorias e histórias*. Universidade Católica de Goiás. Goiânia, GO, Brasil: Universidade Católica de Goiás.
- Ruiter, N., Nees, S., Benjamin, R., Nagel, M., Chen, X., & King, M. (2008). A variable resistance virtual exercise platform for physiotherapy rehabilitation. *Proceedings of The 15th International Conference on Mechatronics- and Machine Vision in Practice*, (pp. 533-538). Auckland, New-Zealand.
- Santos, K. G. (2010). *Bases anatomofisiológicas do corpo humano I*. Rio de Janeiro, Brasil: Universidade Castelo Branco.
- Santos, L. P. (1995). *Visão por computador*. Braga, Portugal, Portugal: Universidade do Minho.
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2009). *Research methods for business students* (5th ed.). Harlow, England, United Kingdom: Financial Times Prentice Hall.
- Schettini, R., & Corchs, S. (2010). Underwater image processing: state of the art of restoration and image enhancement methods. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2010, 1-14.
- Sharkey, J. (2008). *The concise book of neuromuscular therapy: A trigger point manual*. Chichester, England, United Kingdom, United Kingdom: Lotus Publishing.
- Shieh, C.-C., Coghlan, M., Sullivan, J. P., & Gopalakrishnan, M. (01 de December de 2000). Potassium channels: Molecular defects, diseases, and therapeutic opportunities. *Pharmacological Reviews*, 52 (4), pp. 557-594.

- Short Sr., N. M., & Robinson, J. W. (1999). *Remote sensing and image interpretation and analysis*. (J. W. Robinson, Ed.) Greenbelt, Maryland, USA, USA: NASA's Goddard Space Flight Center.
- Shotton, J., Fitzgibbon, A., Cook, M., Sharp, T., Finocchio, M., Moore, R., . . . Blake, A. (2011). Real-time human posture recognition in parts from single depth images. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2011* (pp. 1297 – 1304). Colorado Springs, CO, USA: IEEEExplore.
- Shotton, J., Girshick, R., Fitzgibbon, A., Sharp, T., Cook, M., Finocchio, M., . . . Blake, A. (december de 2013). Efficient human pose estimation from single depth mages. (D. A. Forsyth, Ed.) *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 35(12), 2221-2840.
- Sik-Lányi, C., & Brown, D. J. (2010). Design of serious games for students with intellectual disability. *Proceedings of the 2010 International Conference on Interaction Design & International Development*, (pp. 151-160). Bombay, Índia.
- Silva, C. G. (2013). *Cultura juvenil em dance games como forma de lazer em espaços públicos de Brasília*. Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Educação Física. Formosa, GO, Brasil: Universidade Federal de Goiás.
- Smith, M., Meyer, S., Stagnitti, K., & Schoo, A. (2009). Knowledge and reasoning in practice: An example from physiotherapy and occupational therapy. Em H. D'Cruz, S. Jacobs, & A. Schoo (Edits.), *Knowledge-in-Practice in the Caring Professions: Multidisciplinary Perspectives* (pp. 193-212). Surrey, England, United Kingdom, United Kingdom: Ashgate Publishing Limited.
- Smith, S. T., Talaei-Khoei, A., Ray, M., & Ray, P. (2009). Electronic games for aged care and rehabilitation. *Proceedings of the 11th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, (pp. 42-47). Sydney, NSW.
- Soares, G. A. (2013). *Importância da Matemática na construção de imagens obtidas por sensoriamento remoto: Uma aplicação para o ensino médio*. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG, Brasil: Universidade Federal de Lavras.
- Solomon, C., & Breckon, T. (2011). *Fundamentals of digital image processing – A practical approach with examples in Matlab*. Chichester, West Sussex, USA, USA: John Wiley & Sons, Ltd.
- Souza, A. M., & Santos, S. R. (2012). Handcopter game: A video-tracking based serious game for the treatment of patients suffering from body paralysis caused by a stroke. *14th Symposium on Virtual and Augmented Reality*, (pp. 201-209). Rio de Janeiro, Brasil.

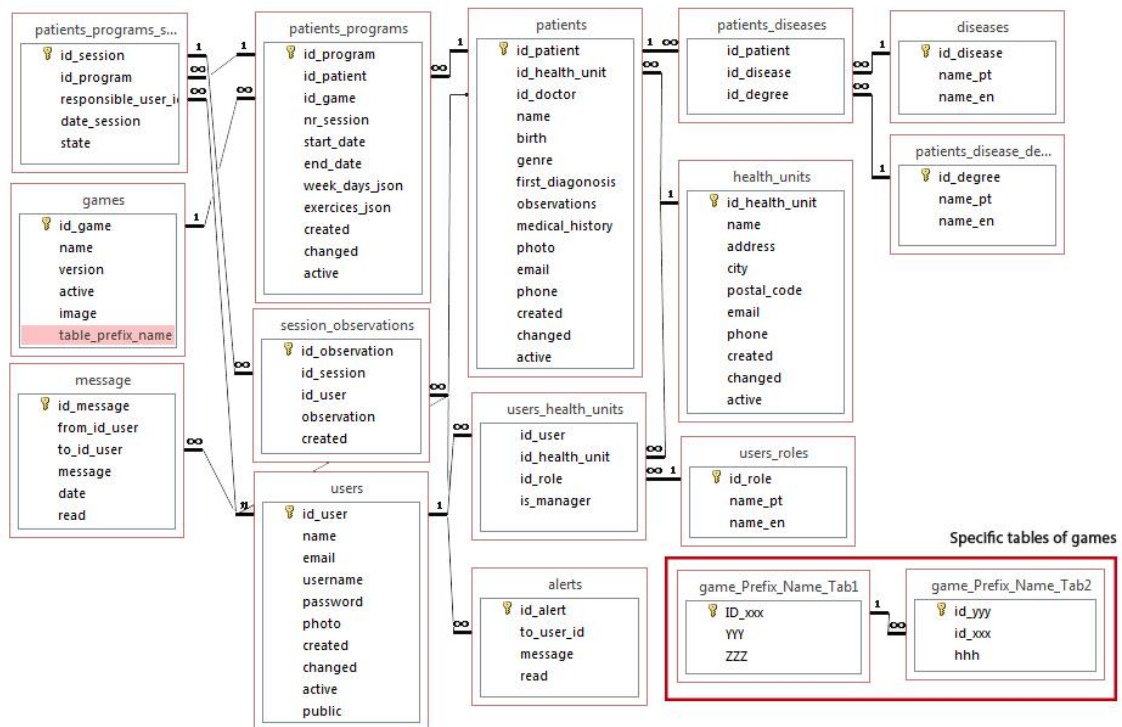
- Sprinthall, N. A., & Sprinthall, R. C. (1993). *Psicologia educacional - Uma abordagem desenvolvimentalista*. Lisboa: McGraw - Hill.
- Stanton, R. (2015). *A brief history of video games: From Atari to Xbox One*. London Great Britain, United Kingdom: Robinson.
- Swett, H. A., Giger, M. L., & Doi, K. (1993). Computer Vision and Decision Support. Em W. R. Hendee, & P. N. Wells (Edits.), *The perception of visual information* (pp. 272-315). New York, USA, USA: Springer Science & Business Media.
- Szturm, T., Peters, J. F., Otto, C., Kapadia, N., & Desai, A. (November de 2008). Task-specific rehabilitation of finger-hand function using interactive computer gaming. *Arch Phys Med Rehabil.*, 89(11), pp. 2213-2217.
- Talug, D. Y. (2012). Lifelong learning through out today's occasions namely social media and online games. Em G. A. Baskan, F. Ozdamli, S. Kanbul, & D. Özcan (Ed.), *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 4th World Conference on Educational Sciences (WCES-2012)*. 46, pp. 4431-4435. Barcelona, Spain: Elsevier.
- Vanacken, L., Raymaeker, S., Raymaekers, C., Coninx, K., Hoogen, W., IJsselsteijn, W., & Feys, P. (2010). Game-based collaborative training for arm rehabilitation of MS patients: A proof-of-concept game. *Proceedings of GameDays 2010*, (pp. 65-75). Darmstadt, Germany.
- Villar, F. A. (1997). Alterações centrais e periféricas após lesão do sistema nervoso central. Considerações e implicações para a prática da fisioterapia. *Rev. Bras. Fis.*, 2(1), pp. 19-34.
- Wang, M., & Lai, C.-H. (2009). *A concise introduction to image processing using C++*. Boca Raton, Florida, USA: Chapman & Hall/CRC Press.
- Wei, T., Qiao, Y., & Lee, B. (2014). Kinect skeleton coordinate calibration for remote physical training. Em P. Lorenz (Ed.), *MMEDIA 2014: The Sixth International Conferences on Advances in Multimedia* (pp. 66-71). Nice, France: IARIA.
- Weisskopf, V. F. (July-Aug de 1977). Views: The frontiers and limits of science: Modern science is a powerful tool for acquiring deeper insights into the world around us, but we must also follow other avenues toward reality. *American Scientist*, 65(4), 405-411.
- Witten, I. H., Eibe, F., & Hall, M. A. (2011). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques* (3rd ed.). Burlington, MA, USA: Elsevier Inc.

- Yadav, A., & Yadav, P. (2009). *Digital image processing*. Daryaganj, New Delhi, India, India: Laxmi Publications Pvt. Ltd.
- Young, I. T., Gerbrands, J. J., & van Vliet, L. J. (1998). *Fundamentals of image processing*. Delft, Netherlands: Delft University of Technology.

ANEXO

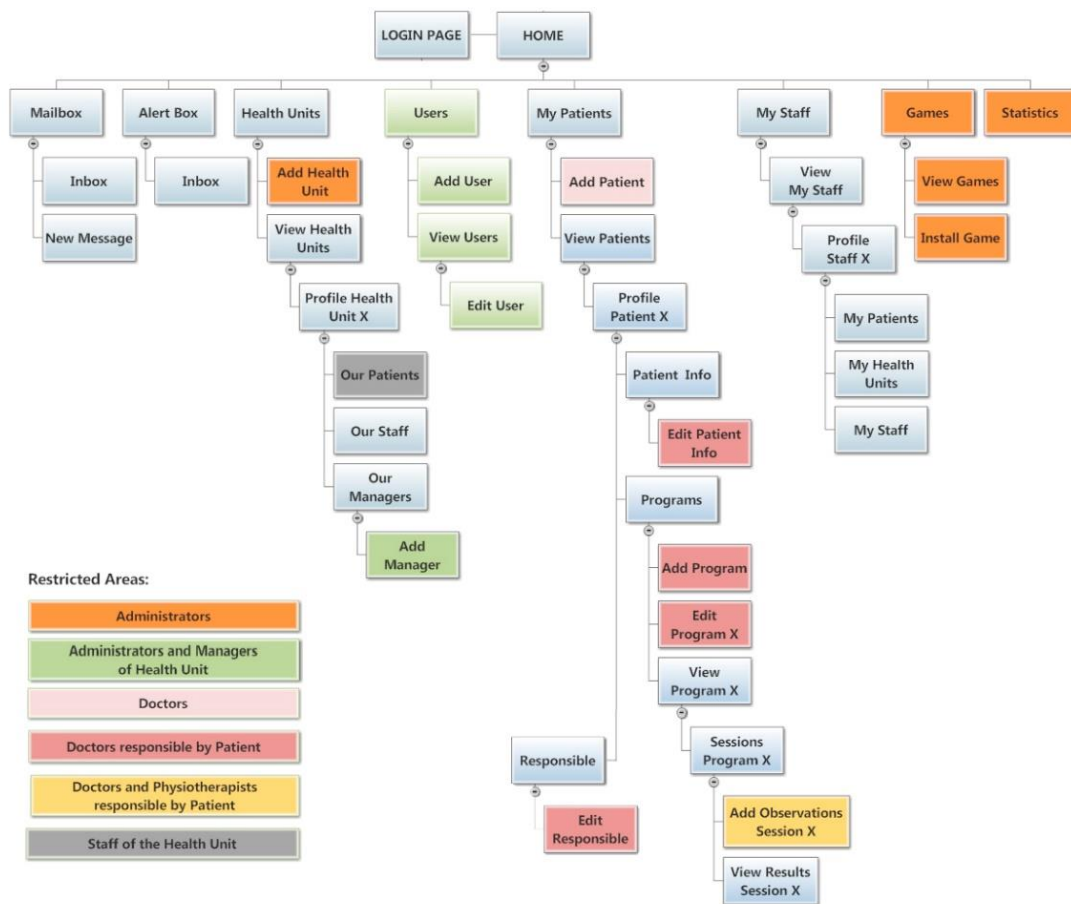
ANEXO A

Diagrama E-R da Base de Dados do *Backoffice*



ANEXO B

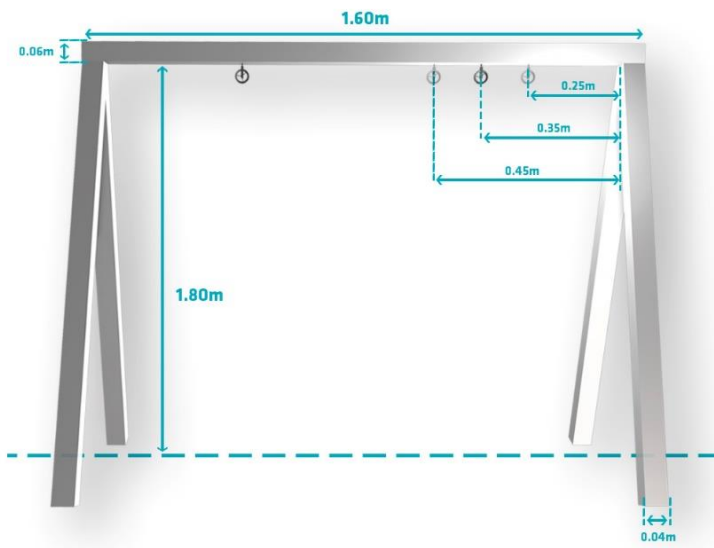
Organograma com a Estrutura de todas as Secções do *Backoffice* e das
Respetivas Áreas Restritas



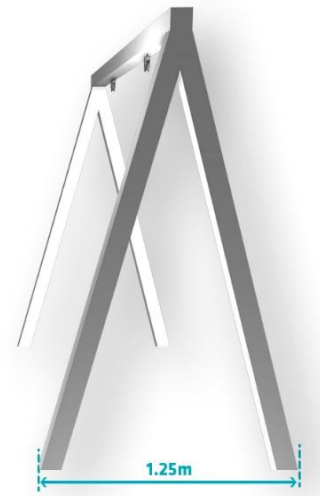
ANEXO C

Medidas da Estrutura Auxiliar de Apoio à Fisioterapia

FRONT VIEW



LATERAL VIEW



ANEXO D

Protocolo de Cooperação entre a Universidade do Minho e a Santa Casa
da Misericórdia de Arouca



SANTA CASA DA MISERICÓRDIA DE AROUCA

**PROTOCOLO DE COOPERAÇÃO ENTRE
UNIVERSIDADE DO MINHO E A SANTA CASA DA MISERICÓRDIA DE AROUCA**

A **Santa Casa da Misericórdia de Arouca** adiante designada por SCMA, *como primeiro outorgante*, com sede na Rua Dr. António Casimiro Leão Pimentel, com o número de contribuinte 501 289 623, representada pelo Dr. Vítor Brandão, na qualidade de Provedor da Santa Casa da Misericórdia de Arouca.

A **Universidade do Minho** adiante designada por UM, *como segundo outorgante*, com sede no Largo do Paço, em Braga, com o número de contribuinte 502 011 378, representada pelo Professor Doutor António Augusto Magalhães da Cunha, na qualidade de Reitor da Universidade do Minho.

Acordam na celebração do presente Protocolo de Cooperação, nos termos e com os fundamentos seguintes:

Cláusula 1ª

A SCMA dedica-se à prestação de serviços no âmbito do apoio social e de saúde. A prestação de serviços na área da saúde iniciou-se com o internamento, mas alargou-se à fisioterapia e às consultas externas de especialidades. A SCMA tem um o Acordo de Cooperação com a Administração Regional da Saúde do Norte nas áreas de Fisioterapia, Terapia da Fala e Exames Auxiliares de Diagnóstico e foram estabelecidos diversos acordos com vários subsistemas de saúde e seguradoras, entre os quais SAMS, Médis, Multicare, etc.

Cláusula 2ª

A Universidade do Minho tem como missão gerar, difundir e aplicar conhecimento, assente na liberdade de pensamento e na pluralidade dos exercícios críticos, promovendo a educação superior e contribuindo para a construção de um modelo de sociedade baseado em princípios humanistas, que tenha o saber, a criatividade e a inovação como factores de crescimento, desenvolvimento sustentável, bem-estar e solidariedade.

Cláusula 3ª

1. O presente protocolo tem como objectivo a cooperação científica e técnica, em áreas consideradas de interesse comum, no âmbito das atribuições prosseguidas pelos outorgantes deste protocolo.
2. Nas colaborações a realizar, ambas as Instituições reservam-se o direito de salvaguardar os interesses e organização internas, de forma a não prejudicar a qualidade das respectivas actividades e o normal funcionamento de ambas as Instituições.

Cláusula 4ª

1. A SCMA e a U.M. comprometem-se a assegurar, de forma adequada, o planeamento, coordenação e acompanhamento das diversas acções de cooperação, a concretizar através da celebração de protocolos específicos (termo adicional) onde se inclui a descrição das actividades, o período de tempo dessas acções, os recursos envolvidos e eventuais contrapartidas resultantes da cooperação entre as duas Instituições.
2. Compete às duas Instituições a supervisão dos projectos, mediante a apresentação periódica de relatórios conjuntos das actividades desenvolvidas.

Cláusula 5ª

1. Os conhecimentos e informação obtidos poderão ser utilizados para fins científicos ou pedagógicos, exceptuando-se a divulgação de informação considerada, por ambos os outorgantes, sensível ou sigilosa a que qualquer das partes tenha acesso.
2. Não é permitida a exploração comercial dos conhecimentos e informação obtidos, salvo acordo específico, aceite por escrito por ambas as partes.

Cláusula 6ª

O presente protocolo vigora por um período de três anos, a partir da data da sua assinatura pelos respectivos representantes das duas Instituições, sendo renovado automaticamente por iguais períodos, excepto se for objecto de denúncia.

Cláusula 7ª

A denúncia do presente protocolo, no todo ou em parte, obriga a um pré-aviso de 60 dias ao outro outorgante, excepto se resultar de imposição legal, a notificar por carta registada com aviso de recepção.

Cláusula 8^a

O presente protocolo pode ser objecto de revisão ou alargamento por acordo entre as partes a qualquer momento.

Cláusula 9^a

Os casos omissos ou dúvidas que surjam no âmbito do presente protocolo e dos protocolos específicos a celebrar ou, eventualmente, qualquer litígio superveniente, serão resolvidos por mútuo acordo entre as partes, com observação do disposto na legislação aplicável.

Braga, de de 2015.

**Provedor da Sta. Casa de Misericórdia de
Arouca**

**Pela Universidade do Minho
O Vice-Reitor**

Vítor Brandão

Rui Vieira de Castro

ANEXO E

Pedido de Autorização à Comissão de Ética

Exmo. Senhor Presidente da Comissão de Ética para a Saúde
do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Arouca:

Assunto: Pedido de apreciação e parecer para estudo de investigação

Nome do Investigador Principal: Mestre Tiago Rafael dos Santos Martins Pereira Rodrigues

Título do projeto de investigação: Projeto de Doutoramento em Engenharia Eletrónica e Computadores

Subtítulo do Projeto: Desenvolvimento de um jogo sério para a fisioterapia de pacientes com doenças neurológicas

Descrição: Os exercícios da fisioterapia tradicional tendem a ser monótonos e repetitivos, o que leva, muitas vezes, os pacientes a sentirem-se desencorajados e a abandonarem os seus programas fisioterapêuticos prematuramente. Sabendo que estes podem ser longos, é necessário promover a motivação dos pacientes de forma a que eles se mantenham nos mesmos o máximo de tempo possível. Os estudos efetuados ao longo do tempo têm vindo a mostra que os jogos sérios são uma ferramenta com enorme potencial para colmatar esta dificuldade. O jogo *Physioland* surge como um complemento à fisioterapia tradicional de pacientes com doenças neurológicas. Utiliza tecnologia não invasiva e consegue monitorizar exercícios fisioterapêuticos através de técnicas de processamento de imagem e inteligência artificial.

Pretendendo realizar nos Serviços de Reabilitação Física do Hospital da Santa Casa da Misericórdia de Arouca um estudo sobre a utilização do jogo *Physioland* em ambiente real, durante um período de dois meses, solicito a V. Exa., na qualidade de Investigador, a sua apreciação e a elaboração do respetivo parecer.

Com os melhores cumprimentos.

Arouca, ____ / ____ / 20 ____

O INVESTIGADOR _____

ANEXO F

Termo de Consentimento Informado

Termo de consentimento informado, livre e esclarecido para gravação de imagens em fotografia ou vídeo.

Título | **Projeto de Doutoramento em Engenharia Eletrónica e Computadores**

Subtítulo | Desenvolvimento de um jogo sério para a fisioterapia de pacientes com doenças neurológicas

Investigador | **Mestre Tiago Martins**

Orientadores científicos | Prof. Doutor Vítor Carvalho | Prof. Doutora Filomena Soares

O presente estudo de investigação, vinculado ao curso de Doutoramento em Engenharia Eletrónica e Computadores da Universidade do Minho, tem como objetivo analisar os resultados da utilização de um jogo sério, "*Medieval Physioland*", orientado para a fisioterapia de pacientes com doenças neurológicas. Os dados serão recolhidos através de observação direta, fotos, inquéritos e vídeos, para análise do jogo proposto, a nível de motivação na utilização de jogos sérios em ambiente clínico.

Declaro que os dados recolhidos, bem como a identidade da pessoa, serão mantidos em sigilo, de acordo com o que se propõe na investigação. O processo de recolha de informação poderá ser interrompido sempre que o utente o entender. Confirmando que foram explicados, ao utente ou ao seu representante, de forma adequada e inteligível, os procedimentos necessários ao ato acima referido.

Certo de contar com o seu apoio, agradecemos antecipadamente a atenção dispensada e colocamo-nos ao seu dispor para quaisquer dúvidas e esclarecimentos.

Nome legível do investigador responsável pela proposta:

.....

(Contacto

Data / /

Assinatura:

=====

Por favor, leia com atenção todo o conteúdo deste documento. Não hesite em solicitar mais informações se não estiver completamente esclarecido(a). Verifique se todas as informações estão corretas e assine este documento.

Declaro que concordo com o que foi proposto e explicado pelo investigador que assina este documento, tendo podido fazer todas as perguntas sobre o assunto. Autorizo a realização do ato indicado nas condições em que me foram explicadas.

Feito em duas vias: original para o processo de investigação, duplicado para a pessoa que consente.

ANEXO G

Questionário aos Profissionais de Saúde



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



CENTROALGORITMI

INQUÉRITO

Ex.^{mo(a)} Senhor(a):

Antes de mais, agradecemos a sua disposição e boa vontade em colaborar.

Este estudo insere-se no âmbito do Doutoramento em Engenharia Eletrónica e Computadores, da Universidade do Minho, e visa compreender o nível de motivação proporcionado por um jogo – intitulado Medieval Physioland – que pretende tornar os pacientes mais motivados no seu processo de reabilitação. Esta tecnologia apresenta situações de jogo eletrónico adaptadas aos exercícios fisioterapêuticos, utilizados na reabilitação física, dispondo, ainda, de funcionalidades de avaliação da evolução do estado do jogador.

O questionário é **confidencial e anónimo**. As respostas individuais não serão reveladas e os resultados serão utilizados exclusivamente para fins de investigação.

Pede-se que indique apenas a alternativa que, de acordo com a sua opinião, melhor se ajusta a cada item do questionário. As respostas devem ser baseadas na **sua primeira impressão**, não sendo necessárias consultas adicionais. Não há respostas certas ou erradas.

Para cada item de resposta fechada, assinale com um X a opção que melhor se adequa ao seu nível de concordância.

Exemplo:

Concordo	1ª opção	2ª opção	3ª opção	4ª opção	5ª opção	6ª opção	7ª opção	Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

Se marcar o X na primeira opção, significa que concorda extremamente; na segunda, concorda bastante; na terceira, concorda ligeiramente; na quarta, é indiferente; na quinta, discorda ligeiramente; na sexta, discorda bastante; na sétima, discorda extremamente.

Por favor, **responda a todas as perguntas**. Se alguma questão for deixada em branco ou se for assinalada mais do que uma opção, o questionário inteiro poderá ser invalidado.

Agradecemos, desde já, a sua colaboração.

Atenciosamente,

Tiago Martins

(Doutorando em Eng. Electrónica e Computadores na Universidade do Minho)

QUESTIONÁRIO

1. Nome: _____

2. Idade:

Menos de 15 anos	Entre 14 e 24 anos	Entre 25 e 34 anos	Entre 35 e 44 anos	Entre 45 e 65 anos	Mais de 65 anos
---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------

4. Sexo: Masculino ☐ Feminino ☐

5. Habilitações literárias: 1º Ciclo ☐ 2º Ciclo ☐ 3º Ciclo ☐ 12º Ano ☐ Superior ☐

6. Cargo:

Médico Fisiatra	Fisioterapeuta	Técnico de Fisioterapia
--------------------	----------------	----------------------------

A. Facilidade de Uso

FU1. É difícil pôr em prática as instruções fornecidas para começar a jogar.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

FU2. O procedimento até começar a jogar é intuitivo.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

FU3. É fácil o posicionamento correto para iniciar o jogo.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

FU4. É fácil interpretar os exercícios propostos pelos vídeos.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

FU5. É fácil a execução dos exercícios propostos pelos vídeos.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

FU6. É clara e compreensível a minha interação com o *Physioland*.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

FU7. É fácil aprender a funcionar com o *Physioland*.

Concordo

Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente
--------------	----------	--------------	------	--------------	----------	--------------

 Discordo

B. Aparência e Performance

AP1. A aparência do *Physioland* é apelativa.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP2. A aparência está adequada ao objetivo do *Physioland*.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP3. A parte sonora é agradável e adequada ao *Physioland*.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP4. O *Physioland* funciona bem.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP5. As animações do *Physioland* são interessantes.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP6. A adaptação de movimentos fisioterapêuticos a situações de jogo eletrônico foi bem conseguida, no *Physioland*.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP7. O *Physioland* tem elementos que desviam o jogador da prática correta dos exercícios propostos.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

C. Satisfação do Uso do *Physioland*

SU1. O *Physioland* é interessante.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU2. Usar o *Physioland* é agradável.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU3. É divertido jogar o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU4. Seria útil usar o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU5. O *Physioland* seria desafiante para os pacientes.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU6. O *Physioland* poderia incentivar os pacientes a concluírem os exercícios propostos.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU7. O *Physioland* poderia ajudar o paciente a abstrair-se da terapêutica que está a realizar.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU8. O *Physioland* poderia desmotivar os pacientes, nas suas sessões de fisioterapia.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU9. Se existisse no mercado, compraria/recomendaria o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU10. Recomendaria a utilização do *Physioland* nas sessões de fisioterapia com os pacientes.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

Questões Abertas

QA1. O que gosta mais no Physioland?

QA2. Quais os aspetos negativos que encontra no Physioland?

QA3. Qual é o exercício mais bem-conseguido no Physioland? Porquê?

QA4. Qual é o exercício menos bem-conseguido no Physioland? Porquê?

QA5. Que sugere para melhorar o Physioland?

QA6. Que jogo semelhante ao Physioland conhece ou já utilizou?

QA7. Qual a sua apreciação global do Physioland?

ANEXO H

Questionário aos Pacientes



Universidade do Minho
Escola de Engenharia



CENTROALGORITMI

INQUÉRITO

Ex.^{mo(a)} Senhor(a):

Antes de mais, agradecemos a sua disposição e boa vontade em colaborar.

Este estudo insere-se no âmbito do Doutoramento em Engenharia Eletrónica e Computadores, da Universidade do Minho, e visa compreender o nível de motivação proporcionado por um jogo – intitulado Medieval Physioland – que pretende tornar os pacientes mais motivados no seu processo de reabilitação. Esta tecnologia apresenta situações de jogo eletrónico adaptadas aos exercícios fisioterapêuticos, utilizados na reabilitação física, dispondo, ainda, de funcionalidades de avaliação da evolução do estado do jogador.

O questionário **é confidencial e anónimo**. As respostas individuais não serão reveladas e os resultados serão utilizados exclusivamente para fins de investigação.

Pede-se que indique apenas a alternativa que, de acordo com a sua opinião, melhor se ajusta a cada item do questionário. As respostas devem ser baseadas na **sua primeira impressão**, não sendo necessárias consultas adicionais. Não há respostas certas ou erradas.

Para cada item de resposta fechada, assinale com um X a opção que melhor se adequa ao seu nível de concordância.

Exemplo:

Concordo	1ª opção	2ª opção	3ª opção	4ª opção	5ª opção	6ª opção	7ª opção	Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente	

Se marcar o X na primeira opção, significa que concorda extremamente; na segunda, concorda bastante; na terceira, concorda ligeiramente; na quarta, é indiferente; na quinta, discorda ligeiramente; na sexta, discorda bastante; na sétima, discorda extremamente.

Por favor, **responda a todas as perguntas**. Se alguma questão for deixada em branco ou se for assinalada mais do que uma opção, o questionário inteiro poderá ser invalidado.

Agradecemos, desde já, a sua colaboração.

Atenciosamente,

Tiago Martins

(Doutorando em Eng. Electrónica e Computadores na Universidade do Minho)

QUESTIONÁRIO

1. **Idade:**

Menos de 15 anos	Entre 14 e 24 anos	Entre 25 e 34 anos	Entre 35 e 44 anos	Entre 45 e 65 anos	Mais de 65 anos
---------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------
3. **Sexo:** Masculino ☐ Feminino ☐
4. **Habilitações literárias:** 1º Ciclo ☐ 2º Ciclo ☐ 3º Ciclo ☐ 12º Ano ☐ Superior ☐

A. Facilidade de Uso

FU1. É difícil pôr em prática as instruções fornecidas para começar a jogar.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU2. O procedimento até começar a jogar é intuitivo.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU3. É fácil o posicionamento correto para iniciar o jogo.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU4. É fácil interpretar os exercícios propostos pelos vídeos.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU5. É fácil a execução dos exercícios propostos pelos vídeos.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU6. É clara e compreensível a minha interação com o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

FU7. É fácil aprender a funcionar com o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

Discordo
Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

B. Aparência e Performance

AP1. A aparência do *Physioland* é apelativa.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP2. A aparência está adequada ao objetivo do *Physioland*.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP3. A parte sonora é agradável e adequada ao *Physioland*.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP4. O *Physioland* funciona bem.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP5. As animações do *Physioland* são interessantes.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP6. A adaptação de movimentos fisioterapêuticos a situações de jogo eletrônico foi bem conseguida, no *Physioland*.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

AP7. O *Physioland* tem elementos que desviam o jogador da prática correta dos exercícios propostos.

Concordo							Discordo
	Extremamente	Bastante	Ligeiramente	Nada	Ligeiramente	Bastante	Extremamente

C. Satisfação do Uso do *Physioland*

SU1. O *Physioland* é interessante.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU2. Usar o *Physioland* é agradável.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU3. É divertido jogar o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU4. Acho útil usar o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU5. O *Physioland* desafia-me a concluir qualquer exercício.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU6. O *Physioland* incentiva-me a concluir os exercícios propostos.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU7. Com o *Physioland* esqueço-me que estou a fazer fisioterapia.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU8. Gosto mais das sessões de fisioterapia tradicional.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU9. Procuro atingir maior pontuação, cada vez que utilizo o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

SU10. Sinto prazer a jogar o *Physioland*.

Concordo

--	--	--	--	--	--	--

 Discordo

Extremamente Bastante Ligeiramente Nada Ligeiramente Bastante Extremamente

Questões Abertas

QA1. O que gosta mais no Physioland?

QA2. Quais os aspetos negativos que encontra no Physioland?

QA3. Qual é o exercício que gosta mais no Physioland? Porquê?

QA4. Qual é o exercício que gosta menos no Physioland? Porquê?

QA5. Que sugere para melhorar o Physioland?

QA6. Que jogo semelhante ao Physioland conhece ou já utilizou?

QA7. Qual a sua apreciação global do Physioland?

ANEXO I

Resultados Detalhados Recolhidos pelo Sistema

I.1. Paciente 1

O Paciente 1 (P1) realizou os exercícios fisioterapêuticos correspondentes aos seis desafios proporcionados pelo jogo, com uma duração de cinco minutos cada um. Exercitava apenas os membros do lado esquerdo, sentado numa cadeira, com a exceção da abdução/adução da articulação coxofemoral, que era realizada com apoio numa das barras laterais da estrutura auxiliar.

Independentemente dos parâmetros analisáveis pelo sistema, é de referir que este paciente se queixava de dores nas articulações, compatíveis com as mudanças de tempo. É um paciente calmo, bem-disposto, gosta de conversar e é expressivo enquanto joga.

I.1.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Na Figura 107, encontram-se os gráficos que se conseguiram obter para este paciente, relativos a este exercício.

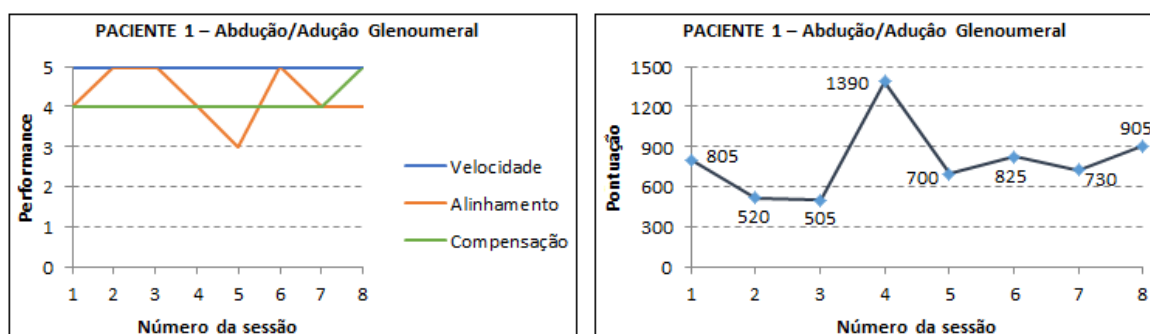


Figura 107 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P1 – AAGU

Este paciente mostrou-se sempre calmo, em todas as sessões em que realizou este exercício. Embora a velocidade de execução fosse relativamente baixa, conseguiu mantê-la constante em cada sessão. Excepcionalmente, na quarta sessão relativa a este exercício, executou-o com a velocidade mais elevada, o que se traduziu numa maior pontuação. Nota-se que, embora nunca tenha sido muito fraco, o alinhamento teve oscilações entre o bom e o muito bom, e só na quinta sessão foi razoável, o que se deve ao facto de o jogador pretender atingir sempre a última moeda, que, ainda mais do que a própria pontuação, era o seu maior desafio pessoal. O paciente, ao executar o exercício, tinha uma tendência para fazer uma ligeira compensação lateral, de modo a conseguir completar o movimento, o que não impediu que ela fosse classificada como boa.

1.1.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

No que se refere a este desafio, obtiveram-se, para este paciente, os gráficos que se podem observar na Figura 108.

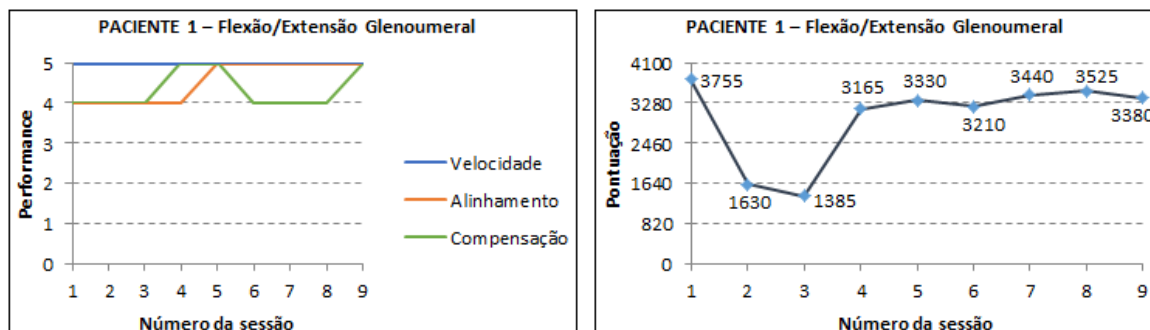


Figura 108 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P1 – FEGU

À semelhança do que aconteceu no exercício anterior, o paciente executou este exercício com calma e mantendo uma velocidade constante. Teve oscilações ligeiras entre o bom e o muito bom, no que se refere ao alinhamento e à compensação. Verifica-se uma diminuição da pontuação na segunda e na terceira sessões, porque executou mais lentamente o exercício.

1.1.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

Os gráficos da *performance* e da pontuação obtidas para este exercício constam na Figura 109.

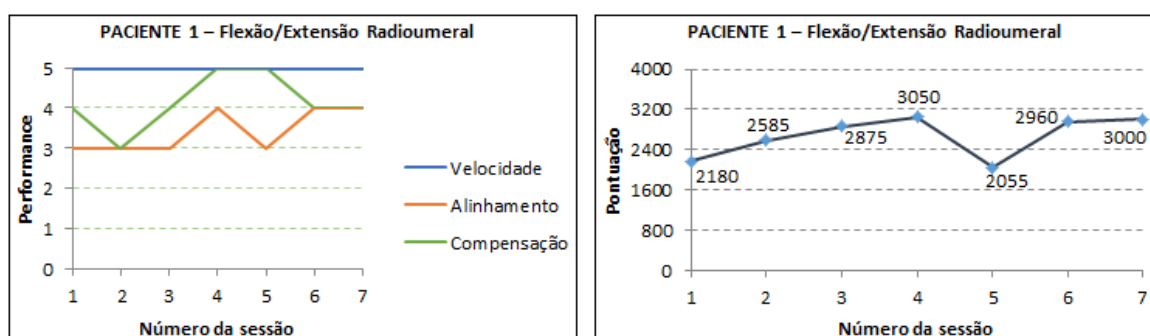


Figura 109 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P1 – FERU

Mais uma vez, a velocidade de execução do exercício manteve-se constante ao longo das várias sessões, notando-se, na quinta sessão, uma quebra pouco significativa na pontuação, o que se deve à sua realização de forma mais lenta do que nas restantes. O alinhamento e a compensação tiveram oscilações ao longo do período de teste, embora se tenham mantido sempre entre os níveis razoável e muito bom.

1.1.4. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

Apresentam-se, na Figura 110, os gráficos que dizem respeito à *performance* e à pontuação deste paciente, neste desafio.

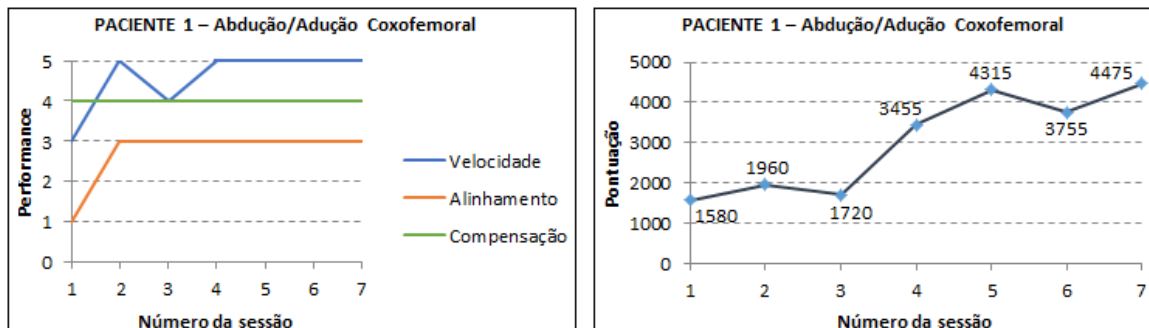


Figura 110 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P1 – AACF

Contrariamente ao habitual, na primeira e na terceira sessões deste exercício, o paciente, não conseguiu controlar tão facilmente a velocidade de execução, possivelmente porque tinha dificuldades de equilíbrio e teve de se adaptar à estrutura auxiliar. Pensa-se que esta dificuldade influenciou, também, o alinhamento, que chegou a ser mau, na primeira sessão, mas tendo-se mantido razoável a partir dela. A compensação foi boa, em todas as sessões.

Novamente, os parâmetros atrás analisados acabaram por influenciar os valores de pontuação. A partir de um certo momento, ela foi influenciada sobretudo pela velocidade de execução, que embora constante, aumentava ou diminuía de sessão para sessão.

1.1.5. MOVIMENTO CRUZADO

Obtiveram-se, para este exercício, os gráficos que se podem observar na Figura 111.

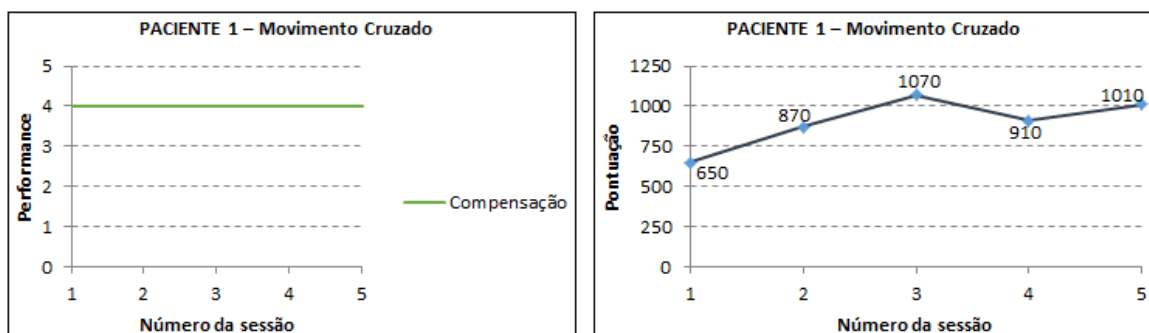


Figura 111 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P1 – MCr

Este exercício, uma vez que o paciente não tem dificuldades com o braço direito, executou-o apenas

com o braço esquerdo, recolhendo-o sempre que apanhava uma moeda. O paciente mostrou-se consistente na realização deste exercício, notando-se apenas uma ligeira compensação frontal durante o período experimental, o que levou a considerá-la boa. A pontuação teve algumas oscilações pouco significativas, que podem estar relacionadas com a aleatoriedade da posição em que as moedas apareciam. Os valores mais baixos referem-se às primeiras sessões, possivelmente pelo facto de o paciente estar a “ambientar-se” ao jogo.

1.1.6. ROLDANAS

No que se refere à *performance* e à pontuação do paciente, neste último exercício, os resultados obtidos podem ser observados nos gráficos da Figura 112.

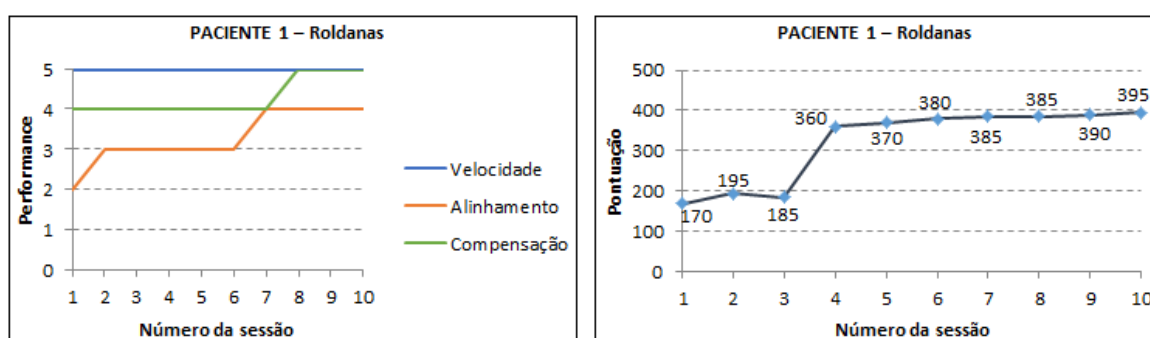


Figura 112 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P1 – Rol

O paciente realizou este exercício sempre com o controlo da velocidade e com boa compensação. Na primeira sessão, o alinhamento foi medíocre, provavelmente como resultado da adaptação ao jogo, mas melhorou nas restantes sessões, sem, contudo, nunca ter chegado ao nível máximo de muito bom. Mostrou uma evolução crescente da *performance* deste exercício, durante as sessões experimentais. Nota-se que a pontuação subiu de patamar a partir da quarta sessão, porque o nível de dificuldade aumentou, proporcionando-lhe a possibilidade de apanhar mais moedas.

1.2. Paciente 2

O Paciente 2 (P2) também realizou os seis desafios propostos pelo *Physioland*, cada um dos quais com a duração de cinco minutos. Executou os exercícios apenas com os membros do lado esquerdo, sempre em pé e sem apoio, à exceção da abdução/adução coxofemoral, em que se apoiava na barra superior da estrutura auxiliar, conforme a imagem da Figura 61.

É de realçar que este paciente é uma pessoa calma, bem-disposta e faladora, gostando, contudo,

de estar concentrada na execução do jogo, sem que houvesse interferências do investigador ou do profissional de saúde que a acompanhava. Aliás, qualquer intervenção só se tornou necessária para alertar eventuais más posturas corporais.

1.2.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Com os dados obtidos para este paciente, neste desafio, construíram-se os gráficos da Figura 113.

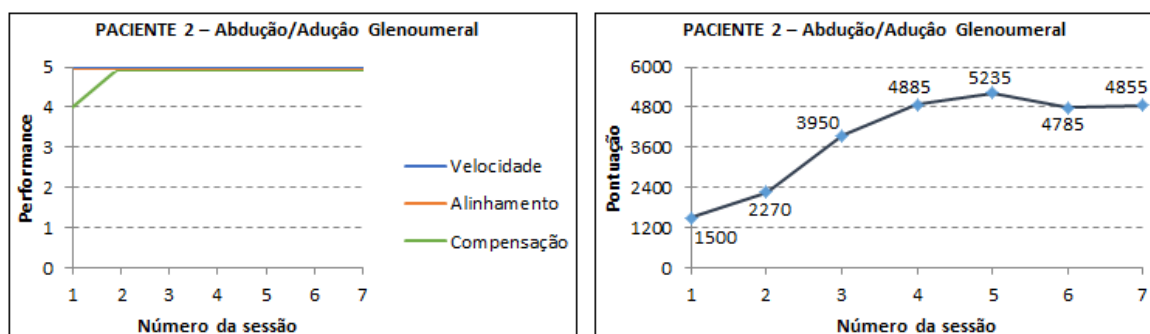


Figura 113 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – AAGU

Da observação do gráfico, é possível concluir que este paciente não mostrou dificuldades em nenhum dos parâmetros analisados: velocidade, alinhamento e compensação. De referir apenas uma ligeira flexão do braço, não relevante, durante a realização do exercício, continuando o paciente dentro dos parâmetros ideais. Quanto à pontuação, ela revelou uma adaptação inicial ao sistema, tendo o paciente atingido a pontuação máxima na quinta sessão. A partir desse momento, a pontuação oscilou ligeiramente, conforme a velocidade maior ou menor com que o paciente executou o exercício, contudo sem variações bruscas.

1.2.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Os gráficos da Figura 114 mostram os resultados que se referem a este paciente, neste exercício.

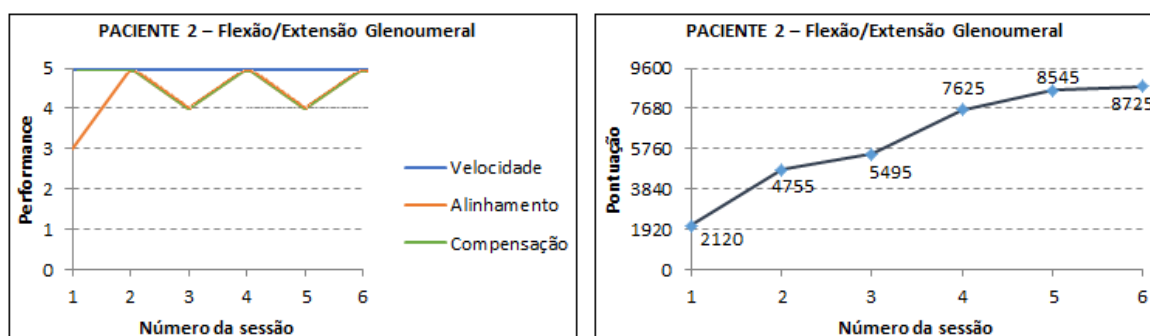


Figura 114 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – FEGU

O paciente mostrou-se firme no controlo da velocidade, mas os valores do alinhamento e da compensação oscilaram, de sessão para sessão, entre os patamares bom e muito bom, com a exceção do razoável, atribuído ao alinhamento, na primeira sessão. A pontuação foi crescendo gradualmente até à última sessão, principalmente pela adaptação, cada vez melhor, ao jogo.

1.2.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

Para este exercício, o paciente obteve a *performance* e a pontuação resumidas na Figura 115.

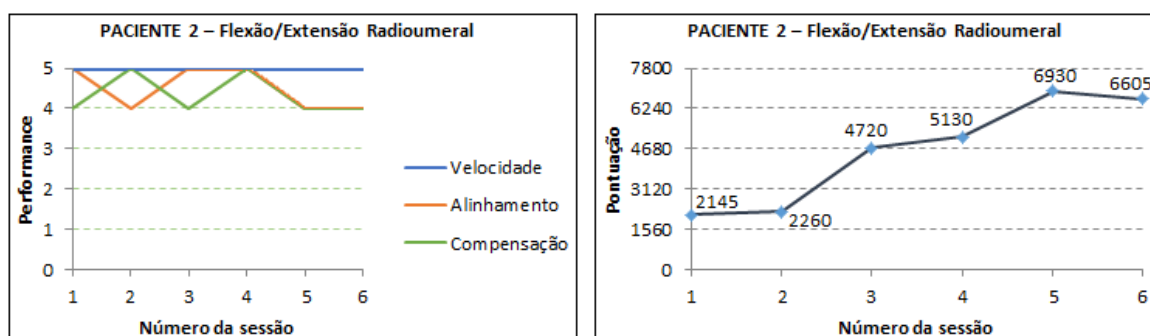


Figura 115 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – FERU

Nota-se, de novo, que o paciente tem um bom controlo da velocidade. À semelhança do exercício anterior, o alinhamento e a compensação oscilaram ligeiramente, de sessão para sessão, entre o bom e o muito bom. O próprio paciente admitiu ter mais dificuldades em executar este exercício, porque lhe causava algum desconforto na articulação do cotovelo. A pontuação seguiu o comportamento dos exercícios anteriores.

1.2.4. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

Relativamente a este exercício, a *performance* e o desempenho conseguiram, da parte do paciente, os resultados que se podem observar nos gráficos da Figura 116.

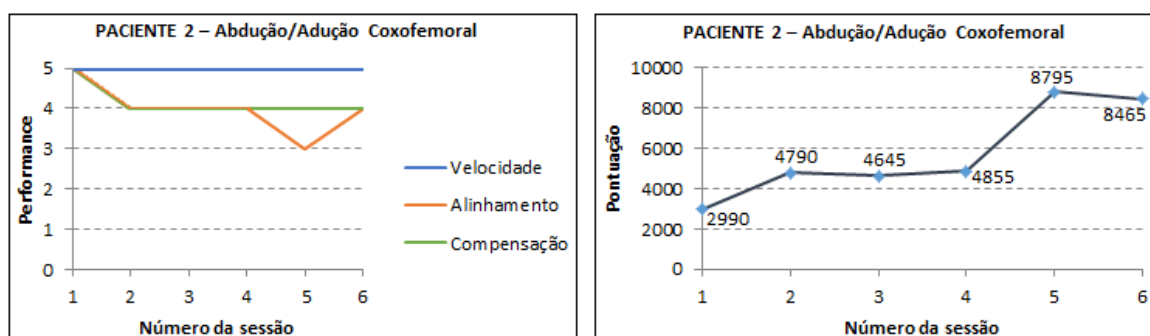


Figura 116 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – AACF

Analisando o gráfico da *performance* do paciente neste exercício, podemos afirmar que os parâmetros se mantiveram quase constantes ao longo das várias sessões, significando, neste caso, controlo da velocidade, alinhamento e compensação bons, tendo chegado mesmo a ser muito bons, na primeira sessão. Contudo, regista-se que o paciente teve uma quebra no alinhamento na quinta sessão, devida, possivelmente, à introdução de uma braçadeira com peso (2 kg), na perna esquerda, a partir desta sessão. O traçado do gráfico da pontuação deste exercício é semelhante ao do desafio anterior.

1.2.5. MOVIMENTO CRUZADO

A execução deste exercício, por este paciente, levou aos valores da *performance* e da pontuação que se podem observar nos gráficos da Figura 117.

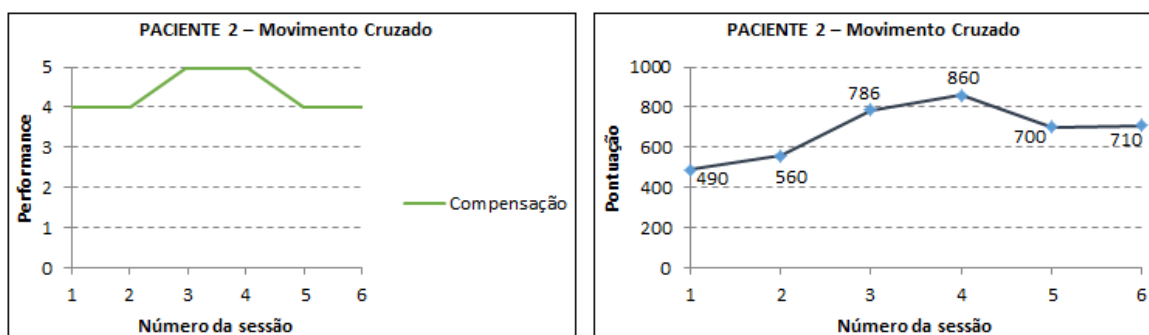


Figura 117 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – MCr

O jogador executou este exercício apenas com o braço esquerdo, recolhendo-o sempre que apanhava uma moeda. A nível de compensação, os valores mantiveram-se sempre nos níveis mais elevados (bom e muito bom). A pontuação foi sofrendo alterações que podem ter origem no carácter aleatório do local onde aparecem as moedas.

1.2.6. ROLDANAS

Neste desafio, o paciente conseguiu valores de *performance* e de pontuação que permitiram construir os gráficos que se podem observar na Figura 118.

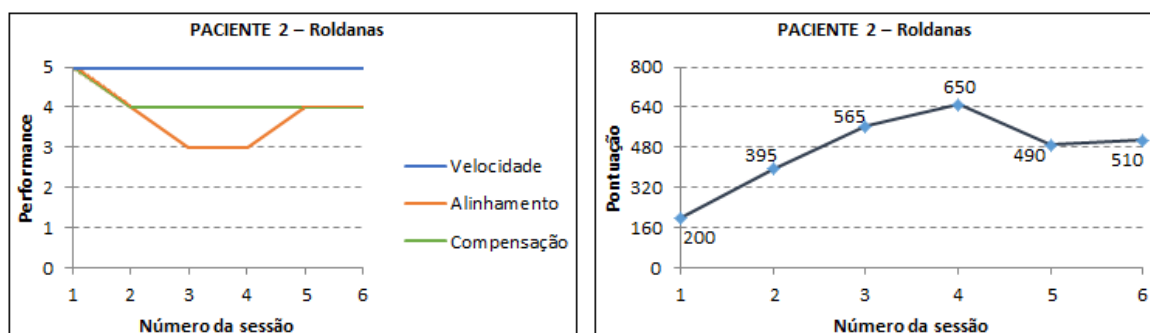


Figura 118 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P2 – Rol

Ao longo do tempo, o jogo foi executado em níveis diferentes de dificuldade (fácil, médio e difícil). A descida da *performance* do alinhamento de muito bom para bom e, a seguir, para razoável, poderá ser fruto da alteração do nível fácil para médio e de médio para difícil, passando a exigir mais do nível físico do paciente, que, no entanto, conseguiu voltar ao patamar correspondente a bom. Da mesma forma, a compensação também foi afetada na passagem do nível fácil para médio, tendo descido de muito bom para bom, o patamar onde se manteve até ao final da experiência. Contudo, a velocidade manteve-se controlada. A subida da pontuação ao longo das sessões é normal, devido à alteração dos níveis de dificuldade. Contudo, nas últimas sessões, o paciente acabou por perder algumas moedas, devido à má sincronização, o que o prejudicou na pontuação.

I.3. Paciente 3

O único exercício realizado pelo Paciente3 (P3) foi a abdução/adução da articulação coxofemoral. Exercitava a perna direita e a esquerda, durante dois minutos e meio cada uma, devido à dificuldade que sentia na execução. Tem pouco equilíbrio, o que o obrigava a apoiar-se na barra lateral da estrutura auxiliar, conforme a Figura 61.

Conquanto simpático, é de poucas palavras e gostava de executar o jogo o mais rápido possível, para terminar a fisioterapia. Tomava a pontuação como o seu maior objetivo.

I.3.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL DA PERNA DIREITA

Nos gráficos da Figura 119, apresentam-se os valores da *performance* e da pontuação conseguidos pelo paciente, aquando da realização deste exercício, ao longo das diferentes sessões.

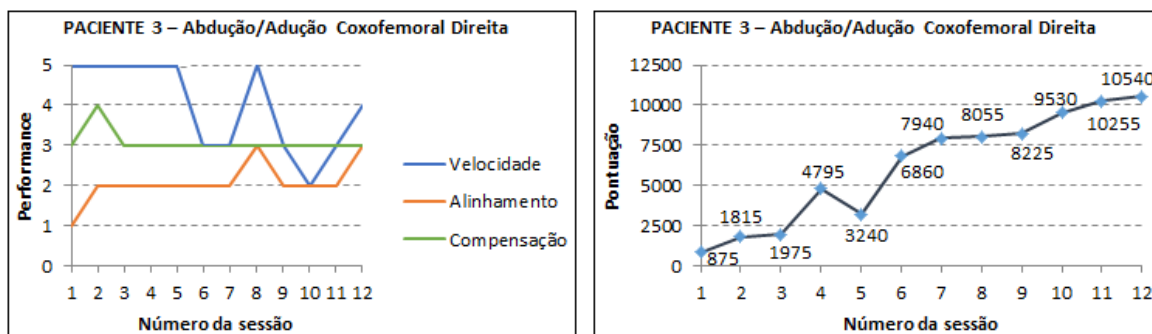


Figura 119 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P3 – AACFd

Perante a análise do gráfico da *performance*, nota-se, de imediato, que é um paciente inconstante. Conseguiu controlar a velocidade em algumas sessões, mas, noutras, a mesma sofreu variações. Apresenta dificuldades físicas que não lhe permitiam fazer os exercícios sem compensações ou alinhamentos. Em prol de uma maior pontuação, por vezes piorou os parâmetros analisados, situando-se o alinhamento, mais frequentemente, no nível medíocre e a compensação no nível razoável, tendo sido esta que se manteve mais estável. A pontuação foi crescente ao longo das sessões (excetuando a quinta sessão), como efeito de variações bruscas de velocidade.

1.3.2. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL DA PERNA ESQUERDA

Os resultados que este paciente foi obtendo, ao longo do período experimental, com a execução deste desafio, foram sintetizados nos gráficos da Figura 120.

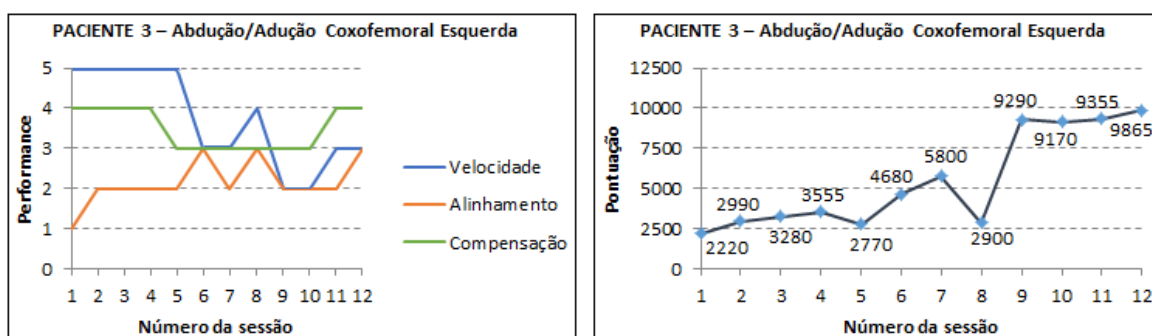


Figura 120 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P3 – AACFe

O comportamento do paciente, relativamente a este exercício, é ligeiramente inferior, quando comparado com o anterior. Como se pode verificar através do gráfico, o paciente conseguiu controlar a velocidade nas primeiras sessões. A partir daí, ganhou confiança no sistema e a pontuação passou a ser prioritária, degradando todos os parâmetros. Mesmo chamando-o à atenção para o facto de estar a tomar uma postura incorreta, assim como alertando-o para o gráfico da aceleração, o

paciente continuava a preferir obter melhor pontuação, embora nem sempre o conseguisse, conforme dá para se observar no gráfico respetivo. A compensação começou por ser boa, mas desceu para razoável na quinta sessão, tendo, na décima primeira sessão, voltado ao patamar de onde tinha descido. Quanto ao alinhamento, começou por ser mau, foi razoável na sexta, na oitava e na décima segunda sessões, mas na maioria das vezes que o paciente executou este exercício, manteve-se medíocre.

I.4. Paciente 4

Dos seis desafios proporcionados pelo jogo, o Paciente 4 (P4) só executou quatro: abdução/adução da articulação glenoumeral, flexão/extensão da articulação glenoumeral, movimento cruzado e roldanas, com a duração de cinco minutos cada um.

A sua doença afetou-o do lado esquerdo e, como tem graves dificuldades de equilíbrio, apenas executou exercícios com o membro superior desse lado.

É uma pessoa inconstante a nível emocional, reflexo de longas horas de tratamento (cerca de quatro diárias). Contudo, apreciava jogar.

I.4.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

A *performance* e a pontuação deste paciente, no que se refere a este exercício, registaram valores com os quais foi possível construir os gráficos da Figura 121.

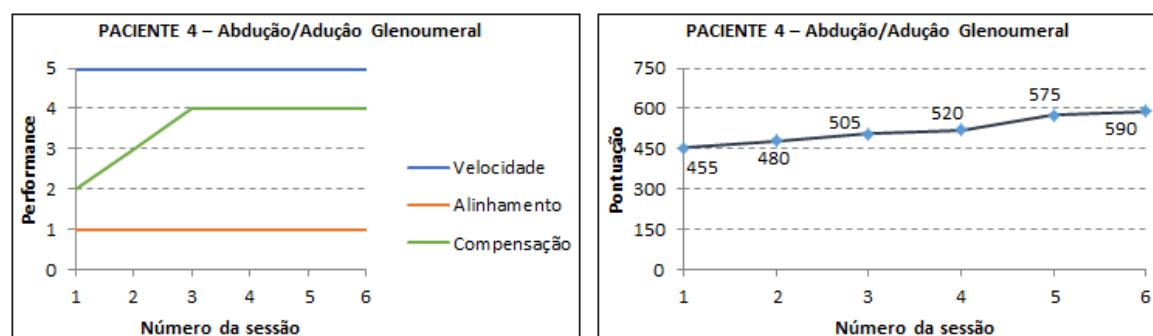


Figura 121 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P4 – AAGU

Devido às sequelas da doença, este paciente, apresentou-se em constante desalinhamento, porque mantinha, permanentemente, o braço fletido. Assim, o alinhamento foi sempre mau. A compensação, ao longo das sessões, foi melhorando, graças às intervenções do profissional de saúde, tendo chegado a ser boa, a partir da terceira sessão. Curiosamente, mostrou controlo na

velocidade, mantendo-a constante em cada sessão, embora tenha sempre executado os exercícios lentamente. Apesar de nunca ter atingido a moeda em posição mais elevada, mostrou-se persistente em conseguir a penúltima, o que nem sempre aconteceu. A pontuação foi crescente, apesar de o paciente estar mais interessado em conseguir obter as moedas do patamar mais elevado, como significado de que conseguia completar o exercício.

1.4.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Os gráficos da Figura 122 foram construídos com base nos valores da *performance* e da pontuação obtidas por este paciente.

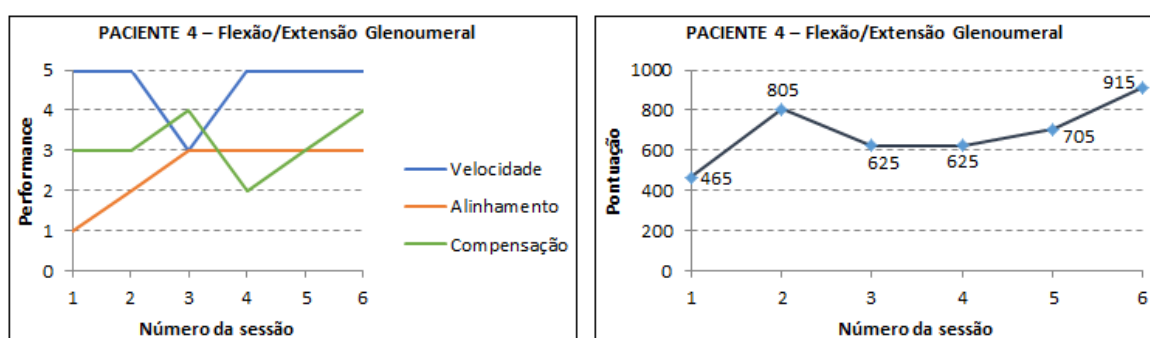
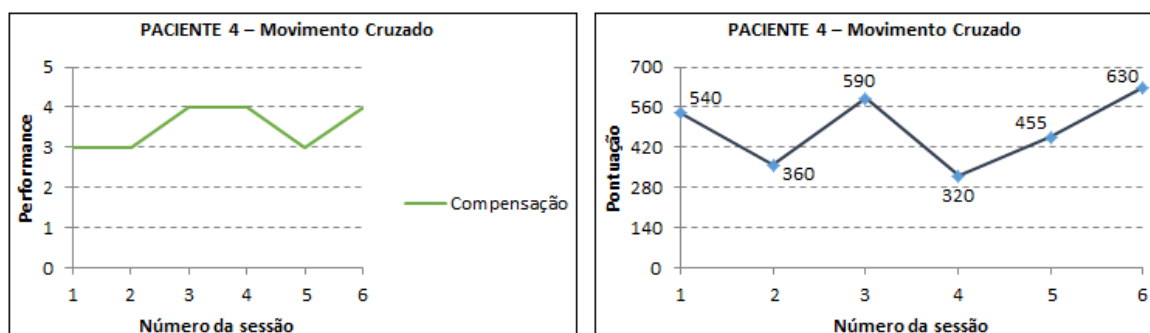


Figura 122 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P4 – FEGU

O gráfico deste exercício revela a inconstante *performance* do paciente. Apesar de os valores continuarem baixos, em consequência dos problemas já mencionados, é de referir a melhoria do alinhamento, ao longo das sessões, já que passou de mau para medíocre e depois para razoável, patamar onde se manteve a partir da terceira sessão e até à última. A velocidade foi sempre controlada, exceto na terceira sessão, na qual o paciente não conseguiu mantê-la constante. A compensação, maioritariamente, atinge valores medianos. A pontuação teve um pico na segunda sessão, baixou na sessão seguinte, para prosseguir, a partir desta, em progressão crescente.

1.4.3. MOVIMENTO CRUZADO

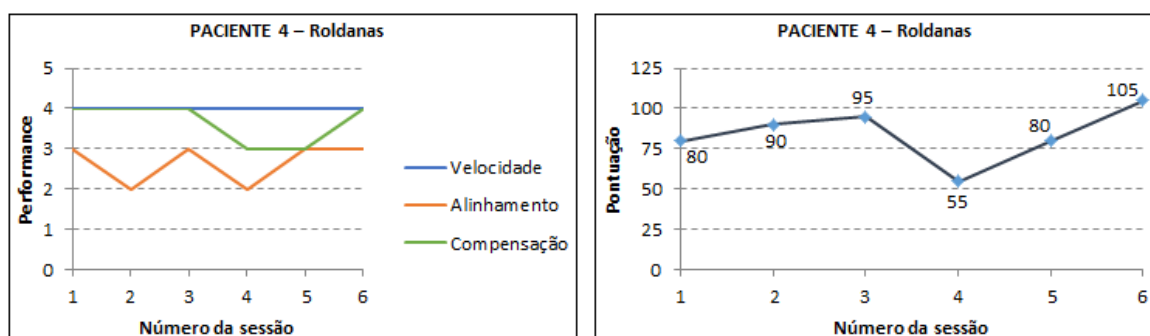
A forma como este jogador respondeu a este desafio traduziu-se em valores de *performance* e de pontuação que originaram os gráficos da Figura 123.

Figura 123 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P4 – MCr

Apesar de o paciente exercitar apenas o membro superior esquerdo, é de referir que ele executava este exercício alternando os dois braços. O gráfico revela oscilações de compensação dentro dos valores razoável e bom. Sobretudo devido à aleatoriedade da posição do aparecimento das moedas, a pontuação variou de sessão para sessão. O paciente tinha dificuldades em apanhar moedas com o braço esquerdo, principalmente quando estas surgiam mais à direita e mais acima. Muitas vezes utilizava o braço direito para conseguir recolher aquelas que não conseguia com o esquerdo.

1.4.4. ROLDANAS

Os valores que se encontram resumidos nos gráficos da Figura 124 caracterizam a *performance* e a pontuação do paciente, no que se refere à execução do presente exercício.

Figura 124 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P4 – Rol

De forma a estabilizar o paciente, houve necessidade de prender a mão esquerda à pega do sistema de roldanas, através da fita de velcro, para evitar que a mão se soltasse durante o exercício. O paciente mostrou um controlo razoável da velocidade, já que foram ligeiras as variações registadas. A compensação foi razoável apenas na quarta e na quinta sessões, tendo sido boa nas restantes. O alinhamento variou entre valores medíocres e razoáveis, mais uma vez provocados pela situação física do paciente. O paciente jogou sempre este jogo em nível fácil, e nem sempre conseguiu a

coordenação dos movimentos com a situação do jogo, o que o prejudicou na pontuação, em especial na quarta sessão.

1.5. Paciente 5

Foram cinco os exercícios executados pelo Paciente 5 (P5), com a duração de cinco minutos cada um: abdução/adução glenoumeral, flexão/extensão glenoumeral, flexão/extensão radioumeral, movimento cruzado e roldanas.

O paciente executava os exercícios sempre sentado na sua cadeira de rodas. É uma pessoa extremamente simpática, atenciosa, que gosta de uma boa conversa. Tentava captar o máximo daquilo que lhe era dito, para fazer o melhor possível.

1.5.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

A realização deste exercício proporcionou, a este participante, valores de *performance* e de pontuação que levaram aos gráficos da Figura 125.

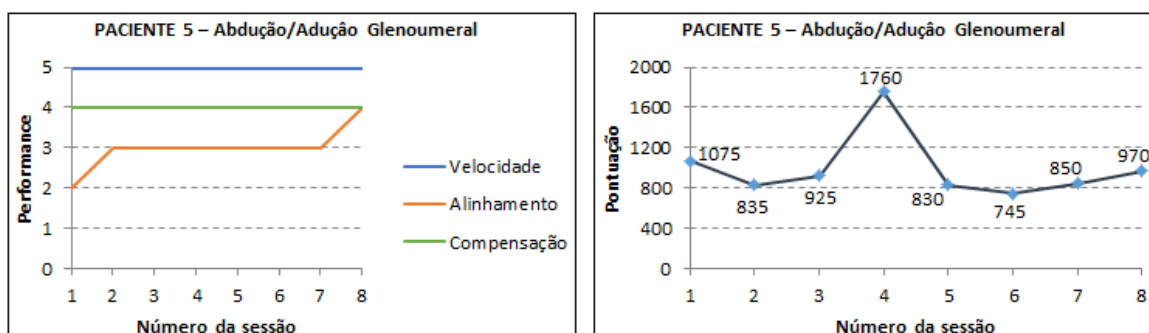


Figura 125 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P5 – AAGU

O gráfico mostra um bom controlo da velocidade em todas as sessões. Quanto ao alinhamento, o paciente conseguiu mantê-lo razoável, exceto na primeira sessão, em que foi medíocre, e na última, em que conseguiu o seu melhor resultado. A compensação manteve-se no nível bom, durante toda a experiência. A pontuação atingiu um pico na quarta sessão, devido à execução mais rápida do exercício, apesar de ter mantido o controlo da velocidade.

1.5.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Quanto a este exercício, o paciente conseguiu os valores de *performance* e de pontuação que podem ser observados nos gráficos da Figura 126.

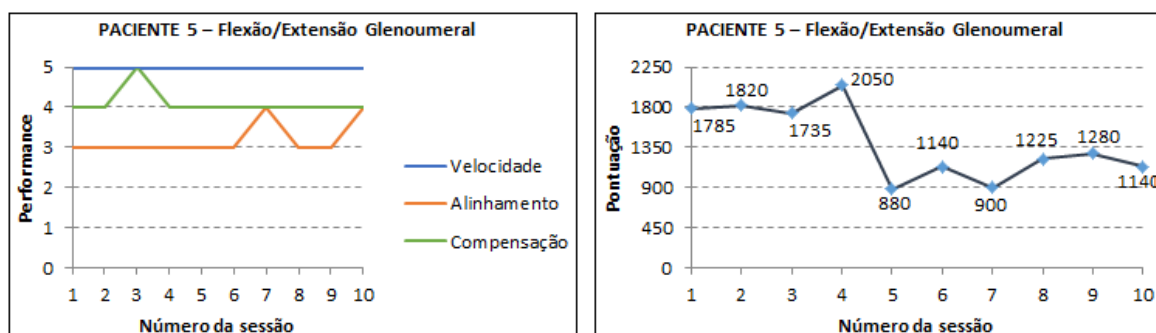


Figura 126 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P5 – FEGU

A velocidade, uma vez mais, foi constante em todas as sessões, a compensação manteve-se no nível bom, com a exceção da terceira sessão, em que atingiu o patamar de muito bom. Passando ao alinhamento, este manteve-se razoável, acabando por atingir o nível bom na sétima e na décima sessões. Inicialmente interessado na pontuação, conseguiu, para esta, valores elevados. No entanto, a partir da quinta sessão, a situação inverteu-se e a perfeição na execução do exercício passou a ser prioritária.

1.5.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

Foi com base nos dados resultantes do comportamento deste jogador, enquanto executava este exercício, que se construíram os gráficos da Figura 127.

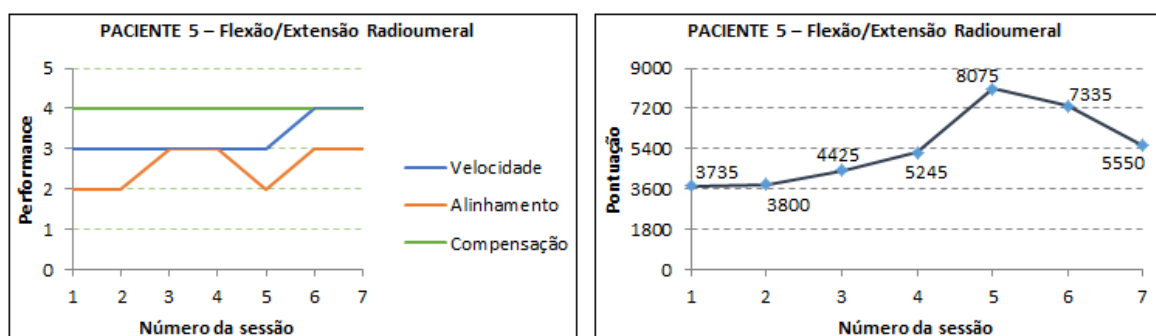


Figura 127 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P5 – FERU

O paciente admitiu ter mais dificuldades em realizar este exercício. Nota-se que, ao contrário dos restantes, não conseguiu, aqui, um controlo da velocidade, que foi variável em cada sessão. No que se refere ao alinhamento, este oscilou entre o medíocre e o razoável. Já a compensação foi boa durante todo o procedimento experimental. A pontuação reflete, um pouco, os valores das restantes variáveis e da própria velocidade de execução do exercício. De notar, um pico de pontuação na quinta sessão, condizente com uma quebra no alinhamento, o que lhe possibilitou atingir um maior

número de moedas.

1.5.4. MOVIMENTO CRUZADO

Através dos dados relativos à *performance* e à pontuação que foram conseguidos por este paciente, neste desafio, obtiveram-se os gráficos da Figura 128.

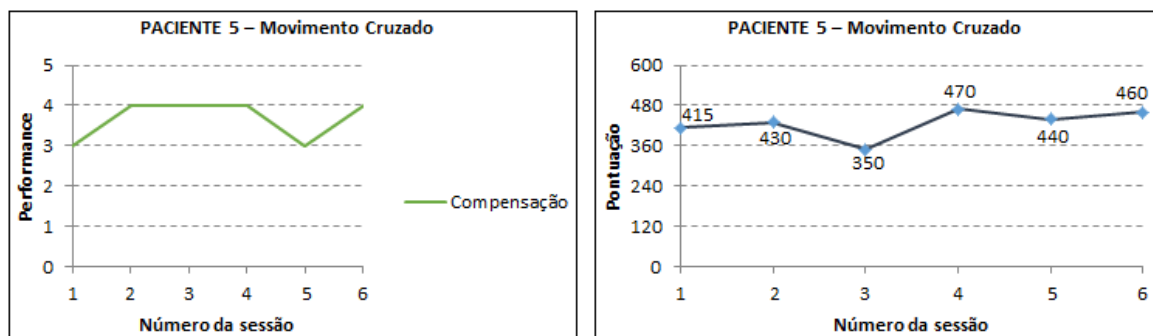


Figura 128 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P5 – MCr

Neste exercício, a compensação foi quase sempre boa, à exceção da primeira e da quinta sessões. A pontuação teve oscilações ligeiras, durante as várias sessões.

1.5.5. ROLDANAS

A resposta deste participante a este desafio surgiu na forma de valores de *performance* e de pontuação revelados nos gráficos da Figura 129.

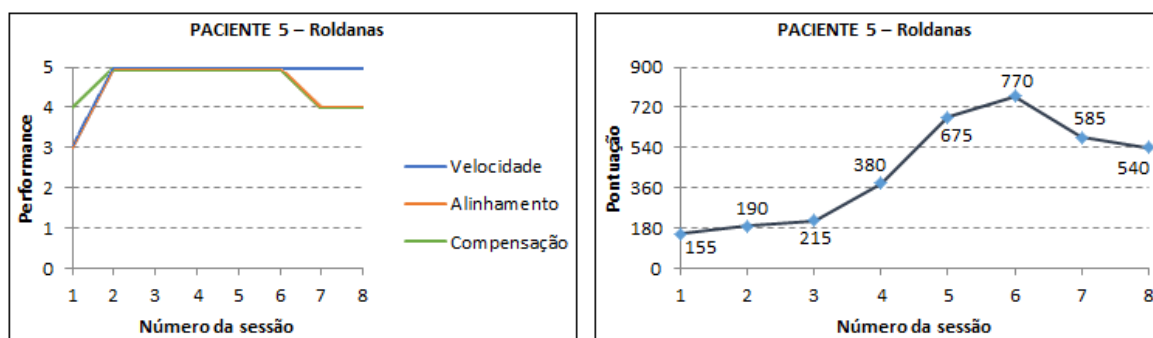


Figura 129 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P5 – Rol

Inicialmente o alinhamento não passou de razoável, mas logo a partir da segunda sessão passou para o patamar superior, do qual baixou para bom a partir da sétima sessão. A compensação seguiu o comportamento do alinhamento, com exceção da primeira sessão, em que foi boa. A velocidade foi variável na primeira sessão, mas a partir dela o paciente conseguiu mantê-la constante. Executou

este exercício em nível fácil até à terceira sessão, a quarta sessão foi em dificuldade média e as restantes em nível difícil. O gráfico da pontuação é um reflexo das alterações do nível de dificuldade e da velocidade de execução do exercício.

I.6. Paciente 6

Do programa fisioterapêutico do Paciente 6 (P6), constam todos os exercícios proporcionados pelo *Physioland*, que foram executados apenas com os membros do lado direito, durante cinco minutos cada um. O paciente executava os exercícios em pé, contudo, na abdução/adução coxofemoral, necessitava de apoio na estrutura auxiliar, conforme a Figura 61.

Divertido e sempre com uma resposta pronta, dizia não ter paciência para jogar com controlo de velocidade, e tomava sempre a pontuação como o seu maior desafio.

I.6.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Com a informação que se refere à *performance* e à pontuação deste paciente, ao longo das sessões em que executou este desafio, foi possível obter os gráficos da Figura 130.

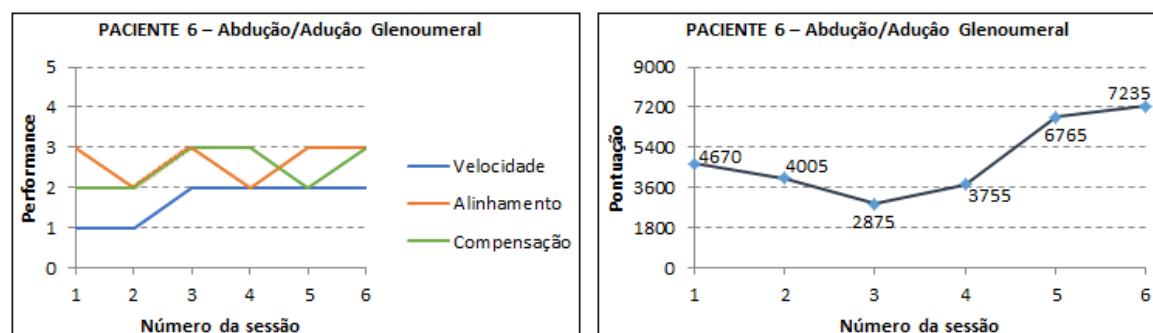


Figura 130 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – AAGU

A velocidade neste exercício foi muito variável, com variações bruscas nas primeiras sessões. O alinhamento alternou entre razoável e medíocre, e a compensação variou quase da mesma forma. Em termos de pontuação, este paciente, atingiu valores relativamente elevados, o que se deveu, sobretudo, à sua falta de controlo na velocidade e às compensações e desalinhamentos que fez. Embora chamado à atenção várias vezes, durante as diversas sessões, não teve em atenção a sua postura corporal, em prol da pontuação.

1.6.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Foram os valores dos parâmetros analisáveis pelo sistema, relativos a este paciente e a este exercício, que permitiram elaborar os gráficos da Figura 131.

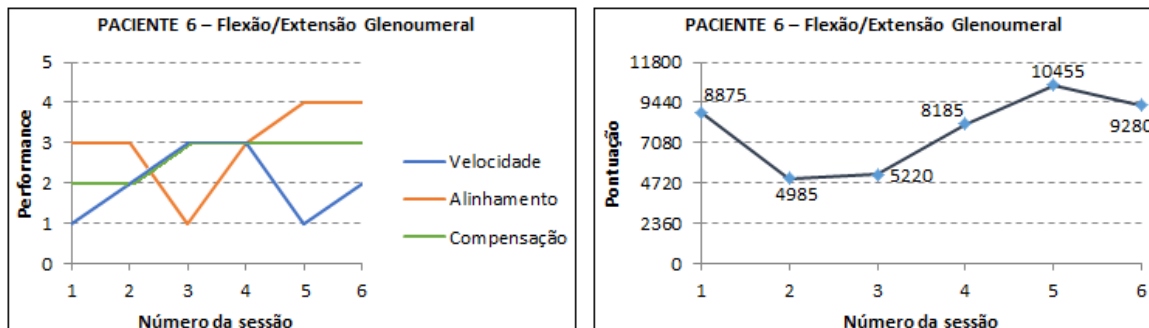


Figura 131 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – FEGU

Analisando o gráfico da velocidade, mais uma vez se nota que o paciente não tem controlo da velocidade. Esta falta de controlo não é provocada pela doença, mas pelo excesso de energia que ele revela. Quanto ao alinhamento, foi mau na terceira sessão, tendo oscilado entre razoável e bom, nas restantes. A compensação começou por ser medíocre, nas duas primeiras sessões, tendo passado para o patamar razoável, nas seguintes. Por vezes, as melhorias da compensação e do alinhamento estão diretamente relacionadas com as chamadas de atenção feitas, ao paciente, pelo profissional de saúde, ou seja, nem sempre são resultantes das dificuldades físicas, nem do esforço para as melhorar. As pontuações continuaram relativamente altas, como resultado do que já foi referido.

1.6.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

Este desafio proporcionou, a este participante, valores de *performance* e de pontuação compatíveis com os que se podem observar nos gráficos da Figura 132.

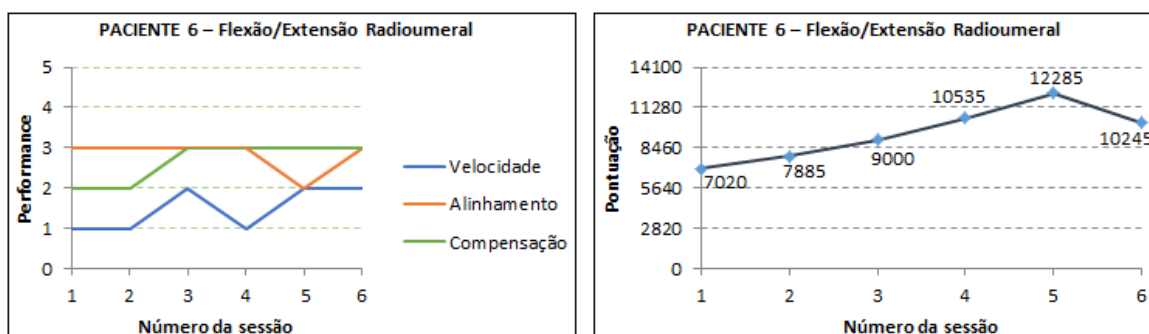


Figura 132 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – FERU

A análise do gráfico da flexão/extensão da articulação radioumeral revela, novamente, a falta de controlo da velocidade, que foi muito variável ou registou variações bruscas. O alinhamento manteve-se razoável em todas as sessões, com exceção da quinta, em que foi medíocre. Quanto à compensação, foi medíocre nas duas primeiras sessões, tendo subido para razoável nas que se lhes seguiram. A pontuação foi crescente até à quinta sessão, na qual atingiu o máximo, devido a um maior desalinhamento que facilitou a recolha de maior número de moedas.

1.6.4. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

Na Figura 133, é possível observar os gráficos que foram elaborados a partir dos valores da *performance* e da pontuação deste paciente, relativamente a este exercício.

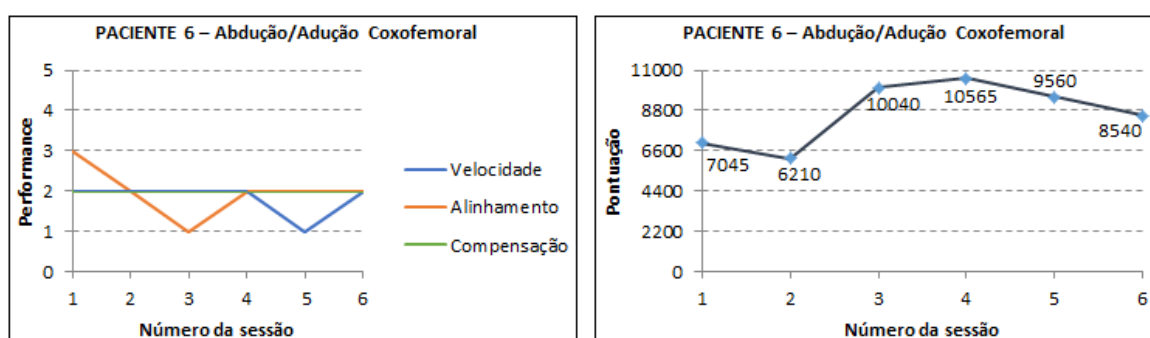


Figura 133 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – AACF

Devido ao pouco equilíbrio que o paciente sentia ao executar este exercício, viu-se obrigado a apoiar-se na barra lateral da estrutura auxiliar. O gráfico da velocidade comprova, mais uma vez, que o paciente não tinha (ou não queria ter) o controlo da velocidade. De facto, esta foi muito variável em cada sessão, ao longo do estudo, tendo mesmo tido variações bruscas na quinta sessão. O alinhamento, embora tivesse começado por ser razoável na primeira sessão, a partir daí começou a baixar, tendo sido mau na terceira sessão e medíocre nas restantes. A compensação foi sempre medíocre. Estes valores da compensação e do alinhamento foram prejudicados pelo estado físico do paciente, que se encontrava em permanente desalinhamento no membro inferior, que o obrigava a fazer muita compensação para realizar o exercício. Contudo, a sua impaciência continuou a prejudicá-lo, na medida em que obteve melhores pontuações, mas pior *performance*.

1.6.5. MOVIMENTO CRUZADO

Os gráficos que se conseguiram para este paciente, relativos a este exercício, podem observar-se na Figura 134.

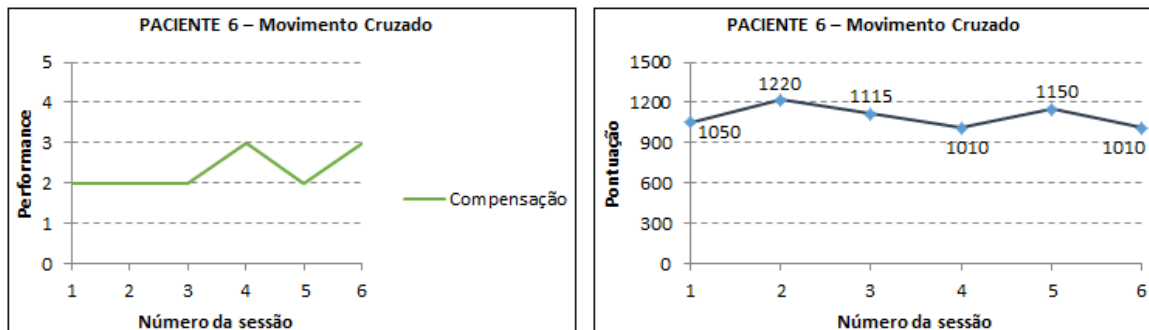


Figura 134 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – MCr

Este paciente só conseguiu uma compensação razoável na quarta e na sexta sessões, tendo-se ficado por uma compensação medíocre nas restantes. O paciente executava o exercício apenas com o braço direito, recolhendo-o sempre que apanhava uma moeda. É de voltar a referir todos os problemas de impaciência que revelou durante a execução do jogo, o que acabou por prejudicá-lo na sua *performance*, mas que, no entanto, se traduziu numa maior pontuação, que sofreu apenas ligeiras oscilações durante o período experimental.

1.6.6. ROLDANAS

Para este paciente, e no que se refere a este desafio, obtiveram-se os gráficos que se podem ver a seguir, na Figura 135.

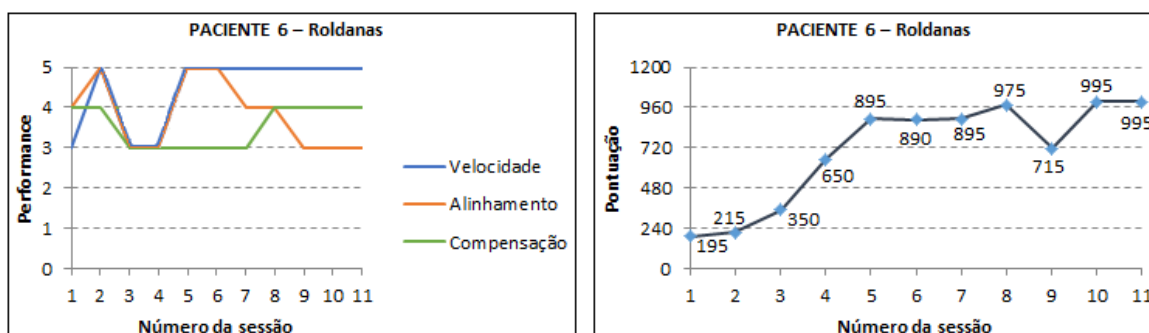


Figura 135 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P6 – Rol

Apesar de variações nos três parâmetros analisados, pode dizer-se que este foi o exercício em que o paciente manifestou melhor desempenho. Isto, porque o jogo obedece a uma sincronização que

obrigou o paciente a executar o exercício com uma determinada cadência, que ele conseguiu captar razoavelmente. De facto, nenhum dos parâmetros se fixou nos níveis mau e medíocre. Mesmo a velocidade foi controlada na segunda sessão e, a partir da quinta, em todas elas. O paciente jogou o nível fácil na primeira e na segunda sessões, o nível médio na terceira e o nível difícil na quarta. A partir da quinta sessão, passou para o nível muito difícil. A pontuação refletiu as alterações do nível de dificuldade. Quanto mais difícil, maior foi a pontuação. Mesmo na nona sessão, a pontuação continuou a ser maior do que quando jogou em níveis de menor dificuldade, tendo sido, no entanto, menor do que outras no mesmo nível de dificuldade, porque o paciente se distraiu e perdeu a sincronização do movimento com a queda das moedas.

1.7. Paciente 7

O participante que foi identificado como Paciente 7 (P7), dos seis exercícios proporcionados pelo jogo, apenas não realizou o movimento cruzado. Todos os outros foram executados com os membros do lado esquerdo, durante cinco minutos cada um.

É uma pessoa calma e gosta de se concentrar no jogo, sem que algo a perturbe. Contudo, aceitava as correções dos profissionais de saúde, durante a execução. Como não tem problemas de equilíbrio, fez todos os exercícios em pé, embora se apoiasse, por vezes, na barra lateral da estrutura auxiliar, para fazer a abdução/adução coxofemoral. Este doente sofreu, recentemente, um enfarte ligeiro e é natural que tenha uma evolução positiva visível a curto prazo.

1.7.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Os gráficos que constam na Figura 136 mostram a *performance* e a pontuação registadas para este paciente, e para este exercício.

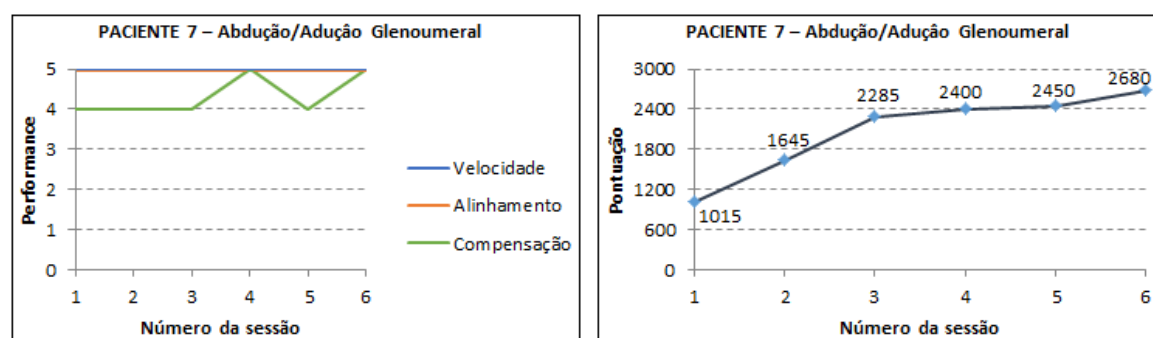


Figura 136 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – AAGU

Perante o gráfico, pode dizer-se que o paciente executou o exercício quase na perfeição. Dos três parâmetros, apenas a compensação não se situou sempre no patamar superior, sendo, no entanto, boa. A pontuação foi crescente desde a primeira à última sessão.

1.7.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Os gráficos que dizem respeito à *performance* e à pontuação deste paciente, neste desafio, apresentam-se, de seguida, na Figura 137.

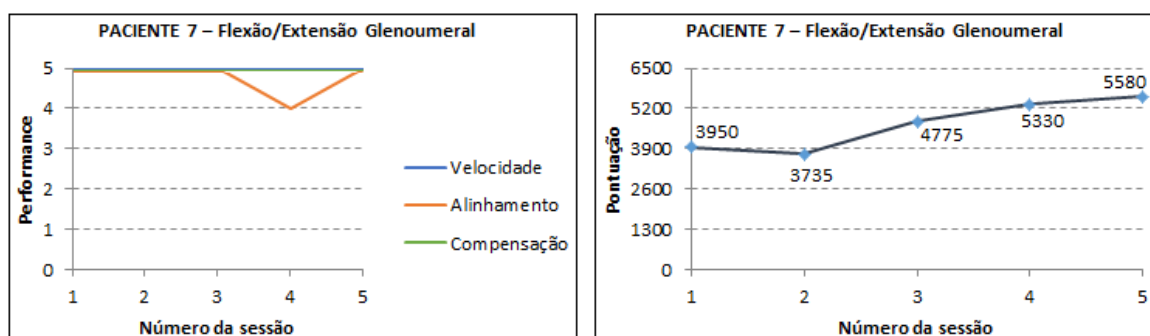


Figura 137 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – FEGU

Em todas as sessões, todos os parâmetros se situaram no patamar superior, significando controlo da velocidade, e alinhamento e compensação muito bons, excluindo-se apenas o alinhamento, na quarta sessão, em que o paciente atingiu o bom. Com a exceção da segunda sessão, na qual se nota uma ligeira descida, a pontuação foi sempre aumentando.

1.7.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

Para este exercício, obtiveram-se os gráficos que se podem observar na Figura 138.

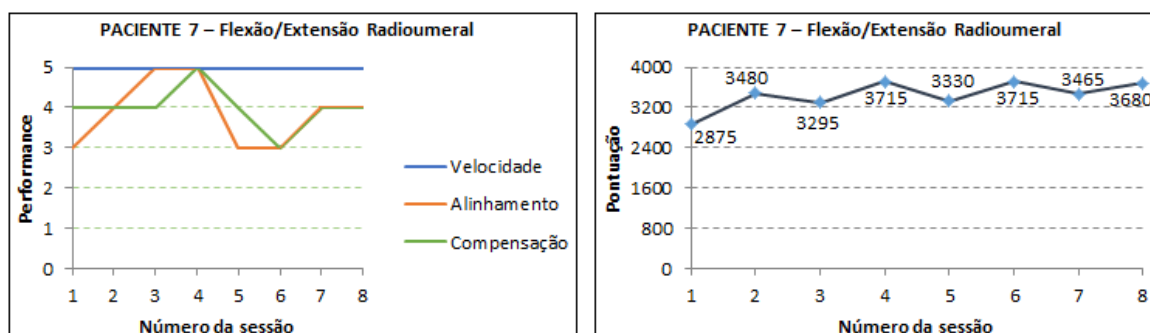


Figura 138 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – FERU

Neste exercício, o paciente continuou a apresentar um bom controlo da velocidade, mantendo-a

constante em cada uma das sessões realizadas. No entanto, o seu desempenho no alinhamento e na compensação foi inferior aos dos restantes exercícios, tendo havido sessões em que ele apenas atingiu o patamar de razoável. O paciente admitia ter mais dificuldades na realização deste desafio, em consequência das dores provocadas. A pontuação foi oscilando ligeiramente, de sessão para sessão.

1.7.4. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

Os resultados obtidos para a *performance* e para a pontuação do paciente, neste exercício, podem ser observados nos gráficos da Figura 139.

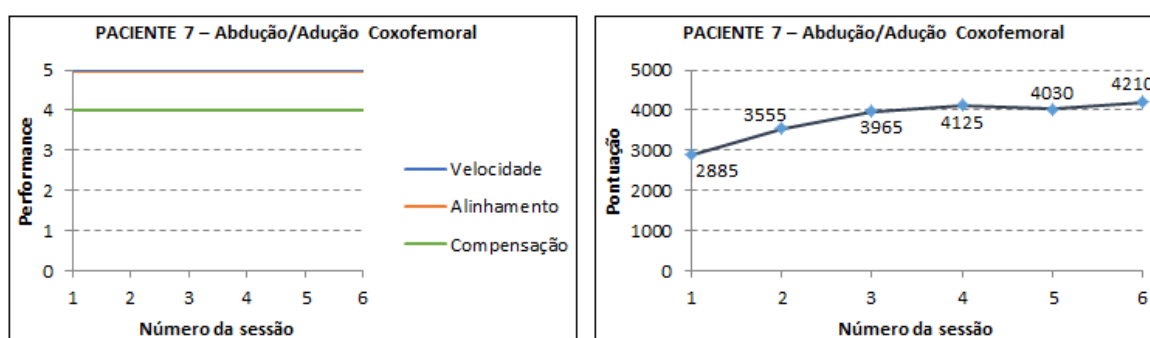


Figura 139 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – AACF

Embora lhe custasse aguentar os cinco minutos sem necessidade de apoio na estrutura auxiliar, este paciente foi muito constante na realização deste exercício. Manteve o bom controlo de velocidade, um alinhamento quase perfeito e uma boa compensação. A pontuação, à semelhança de outros exercícios, foi crescente, com a exceção da quinta sessão, onde se registou uma descida pouco significativa.

1.7.5. ROLDANAS

Com os dados que foram registados para este paciente, neste desafio, construíram-se os gráficos da Figura 140.

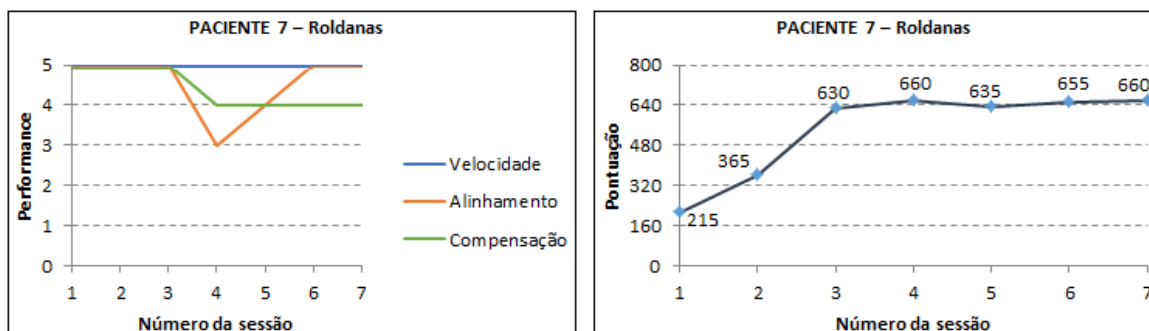


Figura 140 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P7 – Rol

O bom controlo da velocidade é já uma característica deste paciente. Este executou o jogo no nível fácil, na primeira sessão, no nível médio, na segunda, e no nível difícil, nas restantes. Por se sentir mais cansado, na quarta sessão, a compensação baixou do patamar superior para um nível bom, onde permaneceu até ao fim. Quanto ao alinhamento, foi também na quarta sessão que baixou de muito bom para razoável, tendo subido para bom na quinta sessão, e voltando ao nível superior a partir da sexta. A pontuação foi crescente, apresentando apenas uma ligeira descida na quinta sessão.

I.8. Paciente 8

A designação Paciente 8 (P8) recaiu num participante que só não fez a abdução/adução coxofemoral e as roldanas, este último devido a problemas relacionados com a cervical. Em contrapartida, exercitou os dois membros superiores (dois minutos e trinta segundos cada um, à exceção do movimento cruzado que teve a duração de cinco minutos). Tem problemas de equilíbrio, executando os exercícios sentado numa cadeira. É uma pessoa extremamente simpática e faladora. Apesar das suas limitações, estava sempre a rir-se, mesmo durante a execução dos exercícios. As oscilações de pontuações nos vários desafios estão, muitas vezes, relacionadas com as infiltrações que o paciente levou durante o período experimental.

I.8.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL DO BRAÇO DIREITO

É possível observar, de seguida, os gráficos da Figura 141, elaborados com os resultados recolhidos para este paciente, relativos a este exercício.

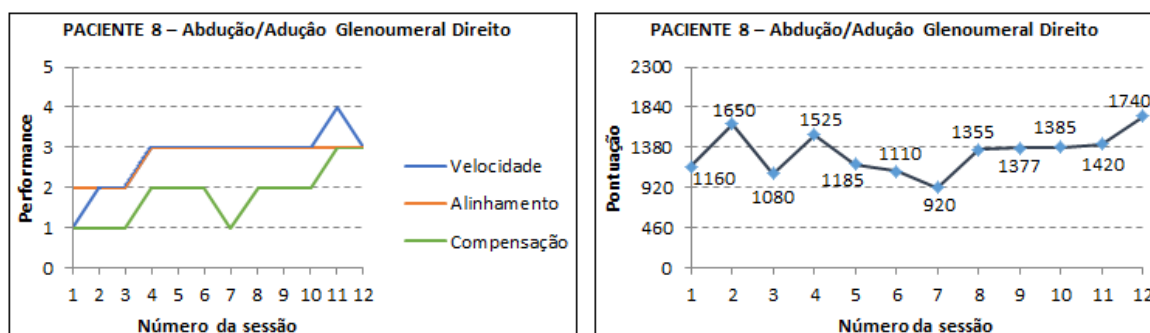


Figura 141 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – AAGUD

O paciente nunca controlou a velocidade, neste exercício, consequência exclusiva da sua doença. Na primeira sessão, a mesma chegou a ter variações bruscas. O alinhamento só nas três primeiras sessões foi medíocre, tendo passado a razoável nas sessões seguintes. A compensação foi má nas três primeiras sessões e na sétima, tendo sido razoável na décima primeira e na décima segunda e medíocre nas restantes. A pontuação oscilou bastante durante o período em que decorreu a experiência.

1.8.2. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL DO BRAÇO ESQUERDO

Ao longo das sessões em que executou este exercício, o paciente obteve os valores da *performance* e da pontuação que foram sintetizados nos gráficos da Figura 142.

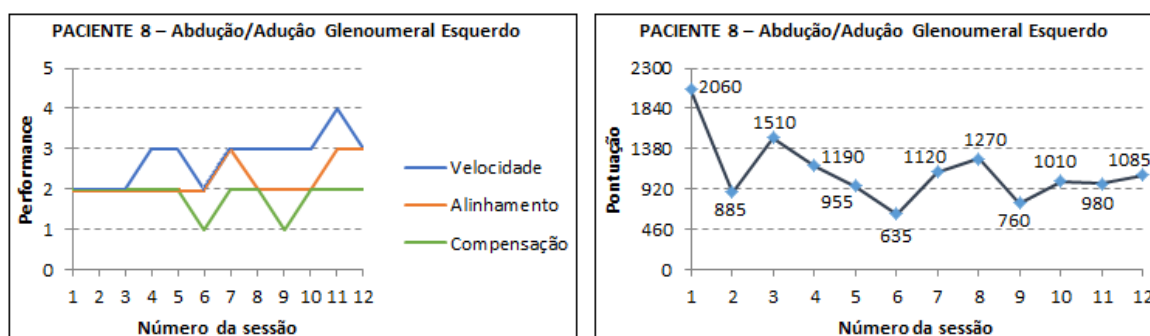


Figura 142 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – AAGUE

A falta de controlo da velocidade continua a verificar-se neste exercício, embora, desta vez, não tenha registado variações bruscas. O alinhamento foi razoável na sétima, na décima primeira e na décima segunda sessões, não tendo passado de medíocre nas restantes. Quanto à compensação, foi maioritariamente medíocre, tendo chegado a má, na sexta e na nona sessões. A pontuação variou muito de sessão para sessão.

1.8.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL DO BRAÇO DIREITO

Considerando este exercício, a *performance* e o desempenho obtiveram, da parte do paciente, os valores que se encontram resumidos nos gráficos da Figura 143.

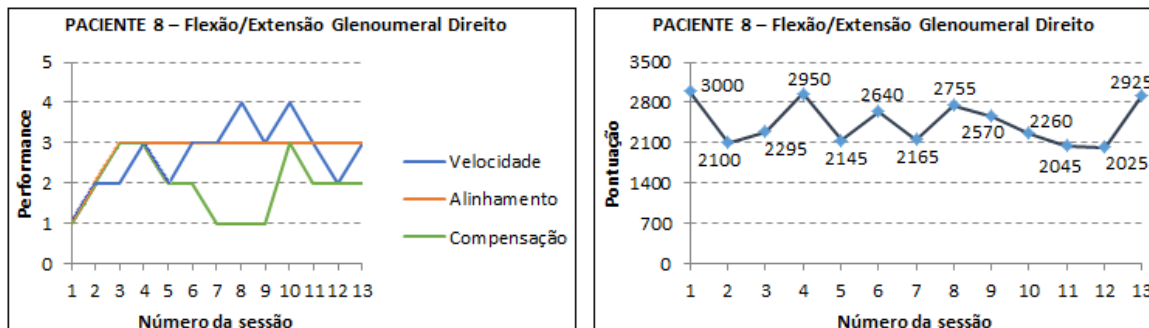


Figura 143 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – FEGUd

A velocidade, à semelhança dos exercícios anteriores, continuou com variações, umas vezes bruscas e outras vezes ligeiras. O alinhamento começou por ser mau, passou a medíocre e a partir da terceira sessão manteve-se razoável. A compensação só foi razoável na terceira, na quarta e na décima sessões, tendo variado entre má e medíocre, nas restantes. Mais uma vez, notaram-se grandes oscilações na pontuação.

1.8.4. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL DO BRAÇO ESQUERDO

Este paciente executou este exercício atingindo os valores da *performance* e da pontuação que podem ser observados nos gráficos da Figura 144.

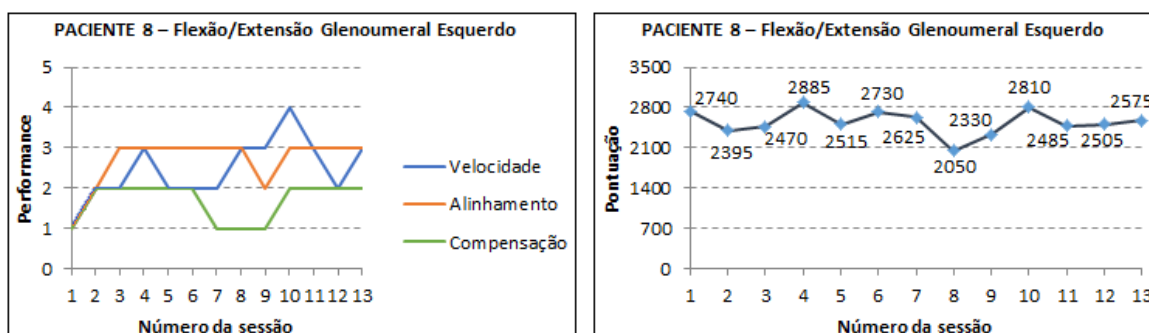


Figura 144 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – FEGUe

O comportamento do paciente, relativamente à velocidade, continuou a ser o mesmo: sempre com variações, por vezes bruscas. No que se refere ao alinhamento, ele quase igualou o do anterior, com exceção da sessão nove, em que baixou para medíocre. A compensação foi fraca, tendo variado

entre os níveis mau e medíocre. A pontuação seguiu o comportamento dos exercícios anteriores.

1.8.5. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL DO BRAÇO DIREITO

Na Figura 145, podem ser observados os gráficos que foram construídos com os valores da *performance* e da pontuação conseguidos pelo paciente, neste desafio.

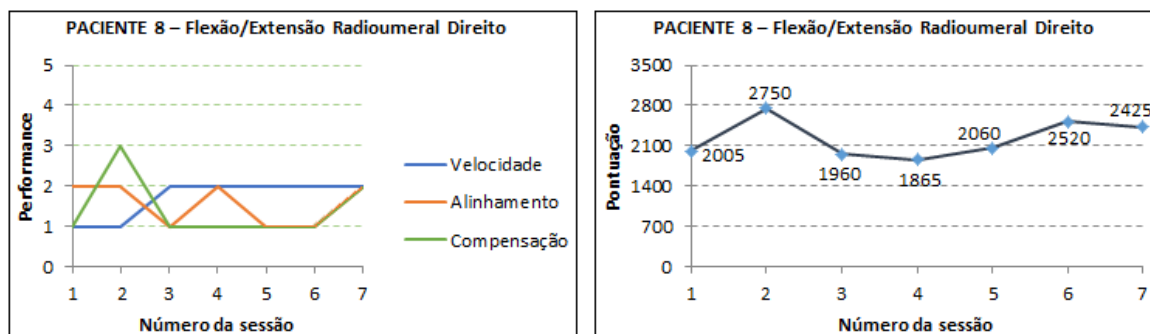


Figura 145 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – FERUd

A *performance* deste paciente, neste desafio, pode ser caracterizada por um mau controlo da velocidade, alinhamento variando entre mau e medíocre, e compensação apenas razoável na segunda sessão, tendo sido classificada, nas outras sessões, com mau e medíocre. O paciente queixava-se que, para ele, era o exercício mais complexo, porque os problemas da cervical influenciavam o seu comportamento. A pontuação apresentou oscilações ligeiras de sessão para sessão.

1.8.6. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL DO BRAÇO ESQUERDO

Aquando da realização deste exercício, ao longo das diferentes sessões, o paciente conseguiu os valores da *performance* e da pontuação que se apresentam nos gráficos da Figura 146.

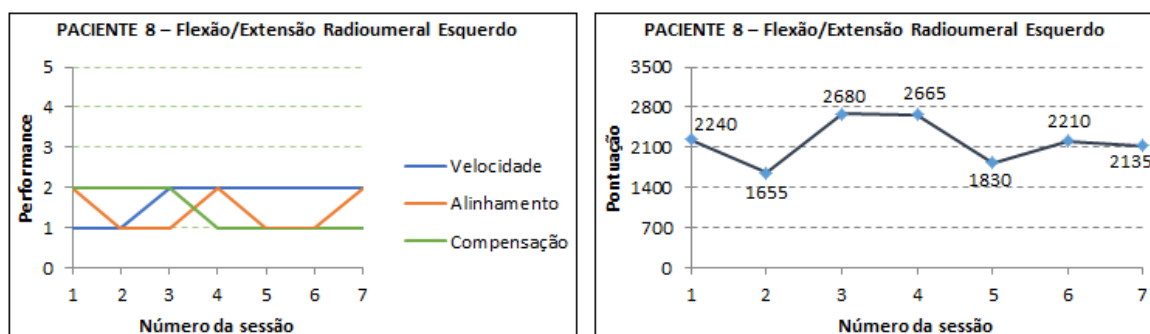


Figura 146 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – FERUe

Analisando o gráfico da *performance* do paciente, neste exercício, facilmente se depreende que os parâmetros variaram todos entre mau e medíocre, sendo a velocidade muito variável, por vezes com variações bruscas. Os valores da pontuação continuaram a apresentar oscilações, mas que nada permitiram concluir acerca do desempenho do paciente.

1.8.7. MOVIMENTO CRUZADO

Ao longo do período experimental, os resultados que este paciente foi registando, com a execução deste desafio, foram sintetizados nos gráficos da Figura 147.

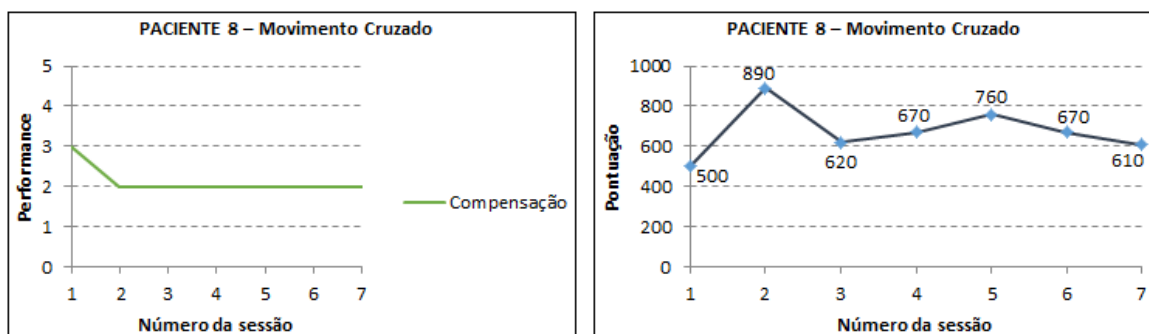


Figura 147 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P8 – MCr

Só na primeira sessão teve compensação razoável, tendo descido para medíocre nas restantes. O paciente executou o exercício com os dois braços, recolhendo o que efetuava o movimento, sempre que apanhava a moeda. A pontuação, como é habitual neste exercício, esteve dependente do carácter aleatório da posição em que aparecem as moedas. De realçar que o paciente, quando não conseguia apanhar a moeda com o braço que deveria, usava o outro, para prosseguir com o jogo.

Em suma, pode dizer-se que se está perante um paciente que se encontra nos limiares da utilização do jogo, ou seja, é classificado como um paciente neurológico em estado moderado.

1.9. Paciente 9

O plano de fisioterapia do Paciente 9 (P9) incluiu apenas dois dos exercícios que o jogo disponibiliza: abdução/adução da articulação coxofemoral e as roldanas, executando-os durante cinco minutos cada um. Exercitava apenas os membros do lado esquerdo, necessitando de apoio na barra lateral da estrutura auxiliar, no primeiro dos exercícios referidos. É uma pessoa inconformada com a sua doença, mas faladora e simpática, embora emocionalmente instável.

1.9.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

Relativamente a este exercício, a *performance* e a pontuação deste paciente atingiram os valores que possibilitaram a construção dos gráficos da Figura 148.

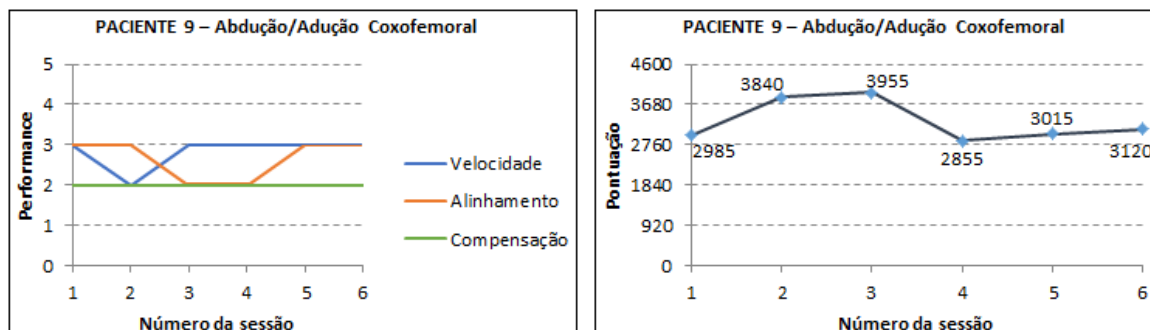


Figura 148 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P9 – AACF

A velocidade foi variável, a compensação manteve-se sempre medíocre e o alinhamento oscilou entre medíocre e razoável. É importante dizer que o paciente executava o exercício quase sempre com uma pequena flexão da perna, arrastando o pé lateralmente, durante a execução do mesmo. Os valores obtidos são reflexo desta postura. Realizando apenas dois exercícios, era suposto que o fizesse em todas as sessões. No entanto, só realizou este exercício em metade das sessões, porque nas restantes se queixava de dores na perna. A pontuação, que começou por ser crescente, teve uma descida na quarta sessão e voltou a crescer nas seguintes.

1.9.2. ROLDANAS

Foi com base nos valores da *performance* e da pontuação obtidas por este paciente, neste exercício, que foram construídos os gráficos da Figura 149.

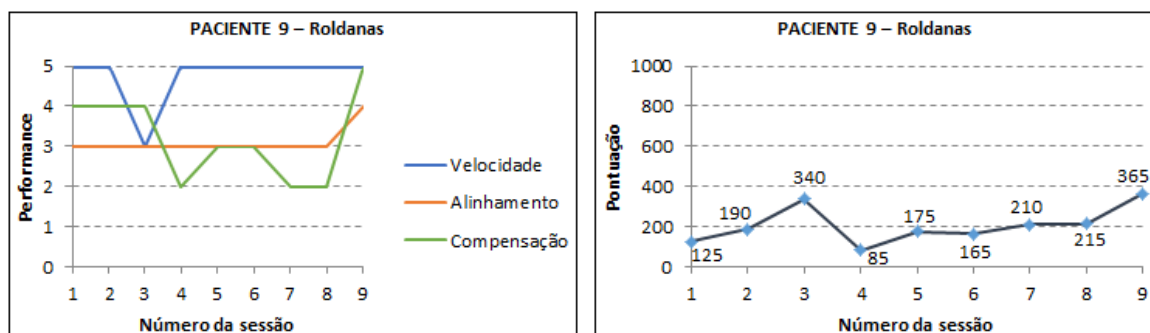


Figura 149 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P9 – Rol

O paciente jogou no nível fácil na primeira e na segunda sessões, no nível médio na terceira, na

quarta e na quinta, voltou ao nível fácil na sexta, na sétima e na oitava, e retornou ao nível médio na nona. A mão esquerda tinha de ser apertada ao punho do sistema de roldanas, através da fita de velcro. Conseguiu manter a velocidade constante em todas as sessões, com exceção da terceira, em que foi variável. O alinhamento foi razoável até à oitava sessão, tendo subido para bom, na nona. A compensação foi variando ao longo do tempo, entre medíocre e muito bom. A pontuação foi variável, em consequência do nível de dificuldade, e devido, também, a diversos problemas, como a sincronização do movimento do paciente em relação à situação de jogo. Por vezes dessincronizava, o que o levava a perder pontuação.

I.10. Paciente 10

Os tratamentos fisioterapêuticos do Paciente 10 (P10) incluem os seis desafios que o *Physioland* disponibiliza. Executava, durante cinco minutos, a abdução/adução da articulação glenoumeral, o movimento cruzado e as roldanas, exercitando os restantes em dois minutos e meio. Tem equilíbrio, mas, quando se sentia mais cansado, utilizava a barra lateral da estrutura auxiliar para se apoiar. É uma pessoa divertida e sempre bem-disposta, afirmando que prefere fazer os exercícios com o jogo do que da forma tradicional, embora admita que “o GTA é mais fixe”. Tomava a pontuação como o seu maior objetivo, acatando, contudo, as instruções dos profissionais.

I.10.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

A resposta que este jogador deu a este desafio exprimiu-se em valores de *performance* e de pontuação que deram origem aos gráficos da Figura 150.

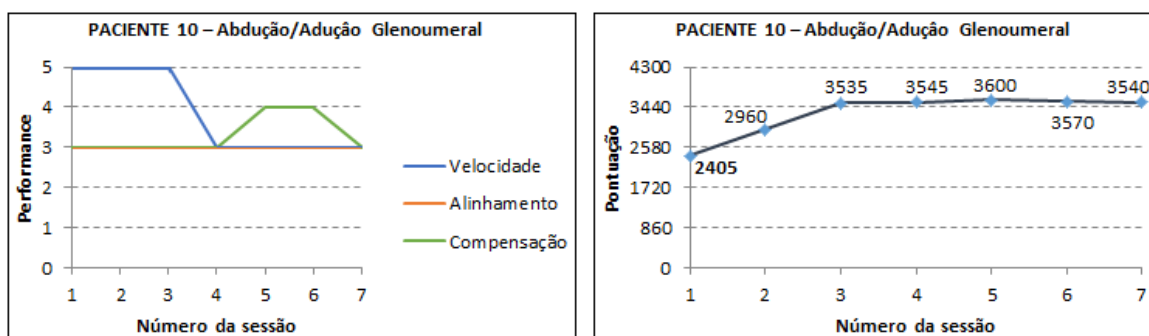


Figura 150 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P10 – AAGU

Neste exercício, o paciente começou por controlar bem a velocidade, mas, a partir da quarta sessão, ela passou a ser variável. Já a compensação seguiu o caminho inverso, uma vez que começou por

se fixar no patamar razoável, para subir para bom, a partir da quinta sessão, regressando, no entanto, ao patamar razoável, na sétima sessão. O alinhamento manteve-se razoável em todas as sessões. Este paciente, à semelhança de outros, também apresenta sequelas físicas da sua doença, o que o impede de ter uma postura correta. Por vezes, piorava um dos parâmetros, em prol da melhoria de outros. A pontuação foi praticamente sempre crescente, tendo apenas uma ligeira descida na sexta sessão e posteriormente na sétima.

1.10.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Nos gráficos da Figura 151, encontram-se resumidos os valores que caracterizam a *performance* e a pontuação do paciente, no que se refere à realização do presente exercício.

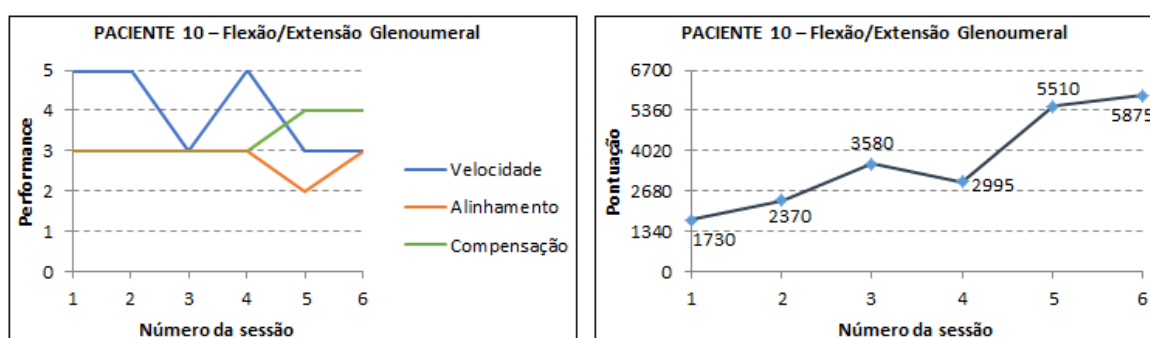
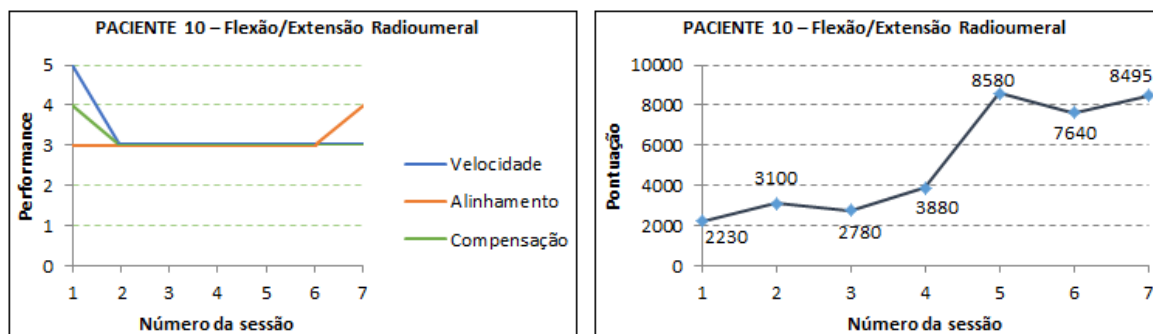


Figura 151 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P10 – FEGU

Este paciente controlou bem a velocidade na primeira, na segunda e na quarta sessões, mantendo-a constante, mas não o conseguiu nas restantes, pelo que ela passou a sofrer variações. A compensação foi razoável até à quarta sessão, passando a ser boa nas restantes. O alinhamento foi razoável em todas as sessões, com a exceção da quinta, em que foi medíocre. A pontuação atingiu os seus melhores valores quando o controlo da velocidade foi pior. Isto significa que, nestas sessões, o paciente estava mais concentrado em angariar pontuação do que em realizar corretamente o exercício.

1.10.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

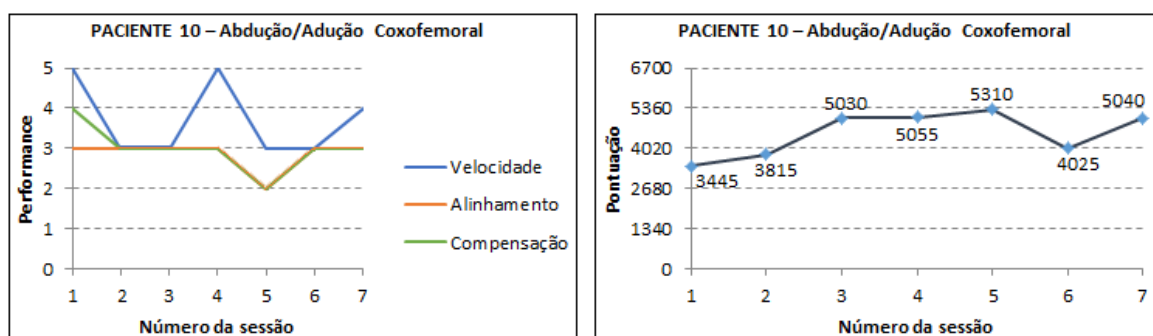
A execução deste exercício mereceu, da parte deste participante, os valores de *performance* e de pontuação que conduziram aos gráficos da Figura 152.

Figura 152 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P10 – FERU

Só na primeira sessão é que o paciente conseguiu controlar a velocidade, que se tornou variável a partir daí. O alinhamento manteve-se razoável até à penúltima sessão, tendo registado o seu melhor valor (bom) na última sessão. Com a compensação, sucedeu o contrário. Começou por ser boa na primeira sessão, tendo descido e permanecido no patamar razoável, a partir da segunda. A pontuação da primeira sessão foi a menor de todas. Se se reparar, foi nesta sessão que o paciente se esforçou por uma melhor *performance*, talvez por ser a primeira vez que utilizava o jogo, estando mais intimidado e querendo mostrar que conseguia fazer corretamente o exercício.

1.10.4. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO COXOFEMORAL

Os valores da *performance* e da pontuação que o paciente conseguiu, neste exercício, podem ser observados nos gráficos da Figura 153.

Figura 153 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P10 – AACF

Mais uma vez, o paciente conseguiu a sua melhor *performance* na primeira sessão. Voltou a ter um bom controlo de velocidade na quarta, e, na sétima, as variações registadas pela velocidade foram muito ligeiras. Nas restantes sessões, a velocidade foi variável. O alinhamento só na quinta sessão foi medíocre, tendo sido razoável nas restantes sessões. Quanto à compensação, foi boa na primeira sessão, teve um pico medíocre na quinta sessão, sendo razoável em todas as outras. O menor valor

da pontuação correspondeu, mais uma vez, à melhor *performance*, apresentando-se, para este facto, a mesma justificação do exercício anterior.

1.10.5. MOVIMENTO CRUZADO

Os dados resultantes do comportamento deste jogador, enquanto executava este exercício, serviram de base para a construção dos gráficos da Figura 154.

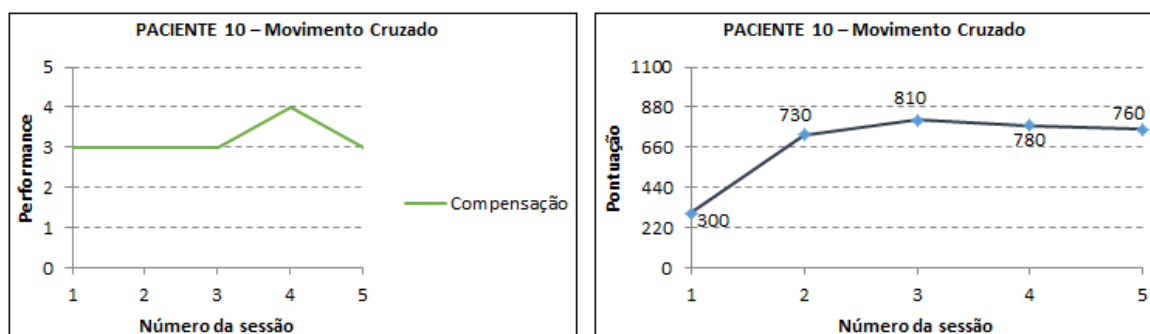


Figura 154 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P10 – MCr

A compensação, neste exercício, foi boa na quarta sessão, tendo-se mantido razoável nas restantes. A pontuação foi crescente até à terceira sessão, a partir da qual foi decrescendo ligeiramente. O paciente executava o jogo apenas com um braço, recolhendo-o sempre que apanhava uma moeda.

1.10.6. ROLDANAS

Elaboraram-se os gráficos da Figura 155, recorrendo aos dados relativos à *performance* e à pontuação que este paciente conseguiu, neste desafio.

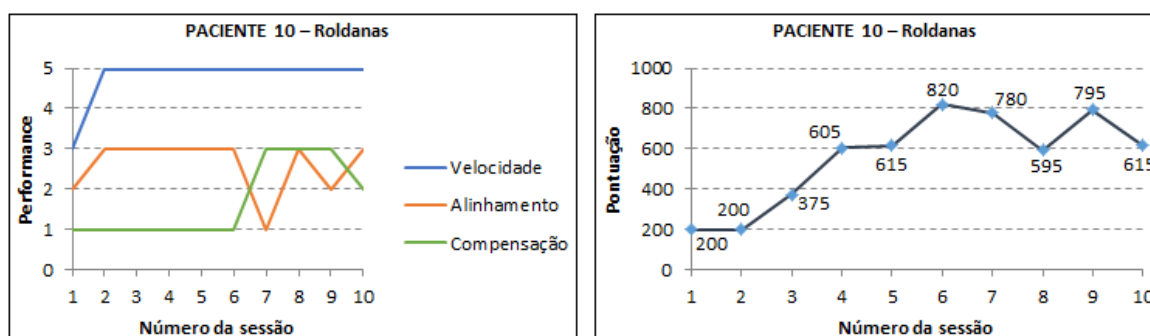


Figura 155 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P10 – Rol

O paciente jogou no nível fácil, na primeira e na segunda sessões, no nível médio, na terceira, no difícil, na quarta, e no muito difícil, nas restantes. Só na primeira sessão, por questões de habituação

ao jogo, é que o paciente não conseguiu controlar a velocidade. Salvo raras exceções, quando melhorava a compensação, piorava o alinhamento, e reciprocamente, tendo qualquer deles variando entre mau e razoável. É de referir que a pior *performance* se registou nas últimas sessões, quando o nível de dificuldade era mais elevado. A pontuação cresceu até à sexta sessão, passando, a partir daí, a ter oscilações.

I.11. Paciente 11

Dos seis desafios do *Physioland*, o Paciente 11 (P11) só não executou a abdução/adução coxofemoral, uma vez que os membros inferiores não foram afetados pela doença. Exercitava apenas o membro superior do lado esquerdo, tendo cada exercício a duração de cinco minutos. Já com uma idade relativamente avançada, sofre de problemas de equilíbrio, o que o obriga a fazer os exercícios sentado numa cadeira. Também tem problemas de visão, contudo, isso não foi problemático para a execução do jogo. É uma pessoa, calma, gosta de falar, mas tem de ser estimulado pelos profissionais, durante o jogo, para executar os exercícios.

I.11.1. ABDUÇÃO/ADUÇÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Este participante respondeu a este desafio com valores de *performance* e de pontuação que se mostram nos gráficos da Figura 156.

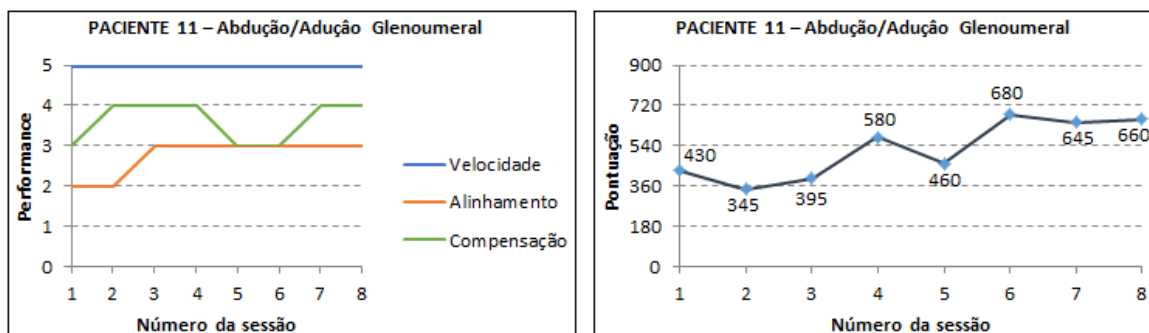


Figura 156 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P11 – AAGU

Conseguiu controlar a velocidade em todas as sessões, o alinhamento foi medíocre nas duas primeiras sessões, tendo melhorado para razoável, a partir daqui. A compensação foi razoável na primeira, na quinta e na sexta sessões, e foi boa nas restantes. A pontuação foi oscilando ao longo das sessões. De realçar que o paciente estava mais interessado na sua *performance* do que,

propriamente, na sua pontuação.

1.11.2. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO GLENOUMERAL

Foi possível construir os gráficos da Figura 157, recorrendo à informação que respeita à *performance* e à pontuação deste paciente, no seu percurso através das sessões em que executou este desafio.

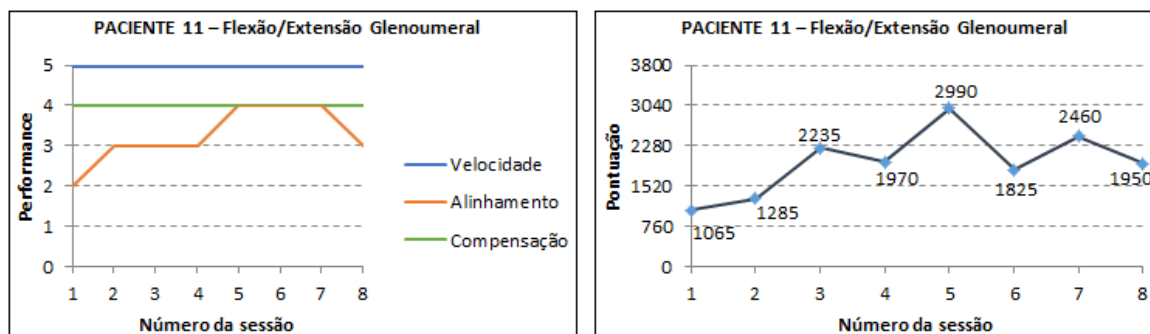


Figura 157 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P11 – FEGU

Houve um controlo da velocidade e a compensação foi boa durante toda a experiência. Quanto ao alinhamento, começou por ser medíocre na primeira sessão, passou para razoável nas três sessões seguintes, para melhorar ainda mais e passar a ser bom na quinta, na sexta e na sétima. Na oitava, voltou a ser razoável. A pontuação foi crescente até à terceira sessão, a partir da qual começou a alternar entre valores maiores e menores.

1.11.3. FLEXÃO/EXTENSÃO DA ARTICULAÇÃO RADIOUMERAL

Os parâmetros que o sistema consegue analisar, relativos a este paciente e a este exercício, obtiveram os valores que possibilitaram a elaboração dos gráficos da Figura 158.

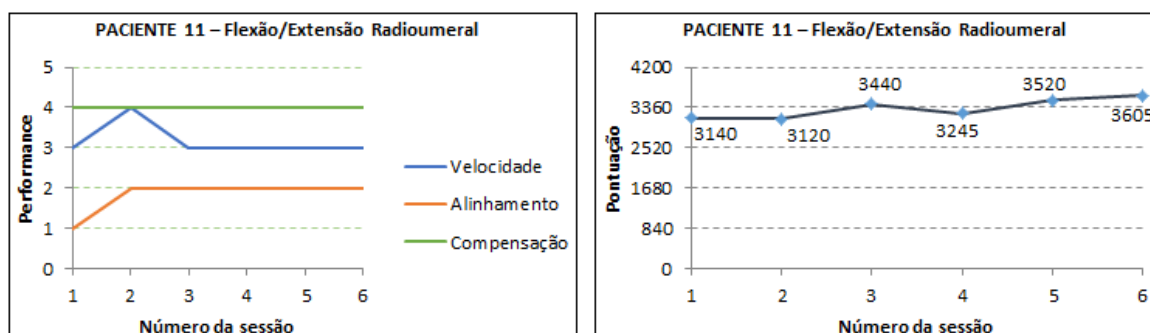


Figura 158 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P11 – FERU

Este foi o único exercício em que o paciente não conseguiu manter uma velocidade constante. De

facto, a velocidade foi sempre variável, e só na segunda sessão é que as variações foram ligeiras. O paciente admitiu que este era o exercício mais difícil de executar. No entanto, a compensação foi sempre boa. Já o alinhamento começou por ser mau, na primeira sessão, e não passou de medíocre, a partir daí. A pontuação manifestou oscilações pouco significativas, ao longo do período em que decorreu a experiência.

1.11.4. MOVIMENTO CRUZADO

Os valores de *performance* e de pontuação que este desafio proporcionou a este participante são compatíveis com os que se podem observar nos gráficos da Figura 159.

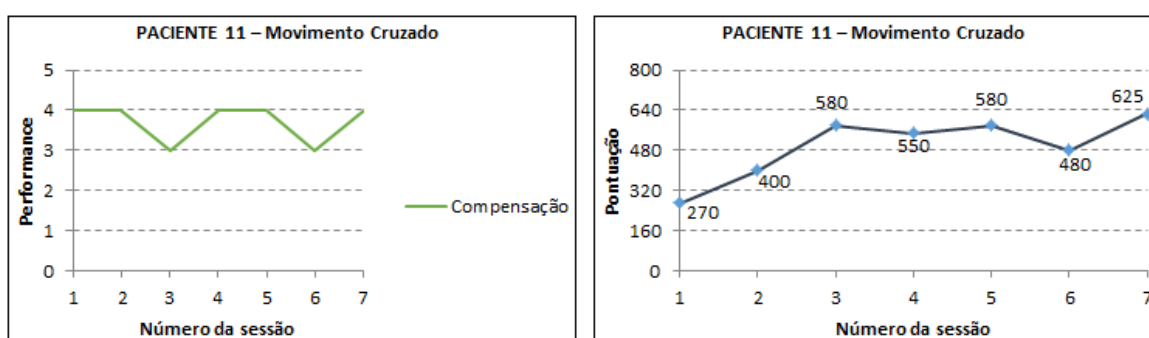


Figura 159 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P11 – MCr

Neste exercício a compensação foi boa, exceto na terceira e na sexta sessões, em que não passou de razoável. Estas piores sessões em termos de compensação podem estar relacionadas com a dificuldade do paciente em alcançar as moedas, que aparecem em posições aleatórias, de iteração para iteração. A pontuação também foi variável, pela mesma razão.

1.11.5. ROLDANAS

Na Figura 160, observam-se os gráficos da *performance* e da pontuação, relativos a este exercício.

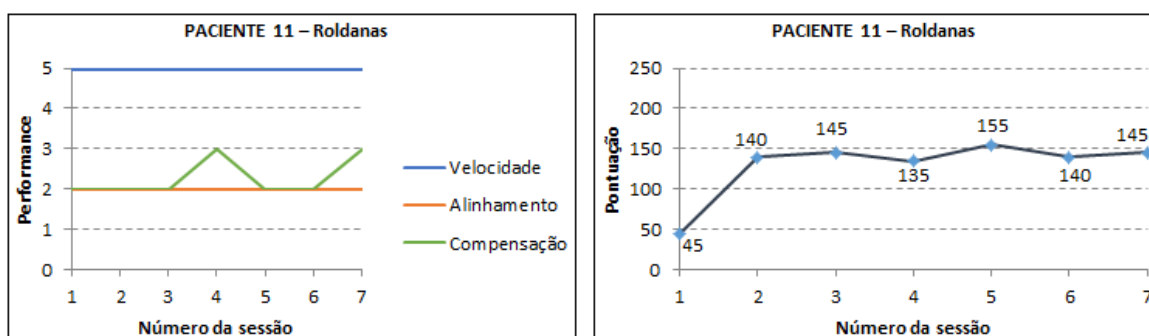


Figura 160 – Gráficos da *performance* e da pontuação de P11 – Rol

O jogador executou o exercício sempre no nível fácil. O controlo da velocidade foi sempre conseguido pelo paciente. O alinhamento fixou-se no patamar medíocre, o mesmo acontecendo com a compensação, com a exceção da quarta e da sétima sessões, em que conseguiu ser razoável. O paciente teve a sua pior pontuação na primeira sessão, porque ainda não tinha conseguido compreender a dinâmica do jogo e andou, muitas vezes, dessincronizado. Nas restantes sessões, manteve valores muito próximos uns dos outros.